

**IANC EN CINCO MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ Y
ESQUEMA DE ANALISIS PARA SU REDUCCION.**

JUAN CARLOS VELASCO PARADA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2018

**IANC EN CINCO MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ Y
ESQUEMA DE ANALISIS PARA SU REDUCCION.**

JUAN CARLOS VELASCO PARADA

**Proyecto de grado en la modalidad de PRÁCTICA CON PROYECCIÓN
EMPRESARIAL para obtener el título de Ingeniero Civil**

Director

CARLOS ALEJANDRO DÍAZ BALLESTEROS

Ingeniero Civil

**Magister en Ingeniería Civil – Énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio
Ambiente**

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2018

Nota de aceptación

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 22 de septiembre de 2018

La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería reside en ella misma, por lo tanto, no responde por las opiniones expresadas en este trabajo de grado.

“Se autoriza su reproducción indicando su origen”

© 2018

DEDICATORIA

A Luz y Carlos, mis padres

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Carlos Alejandro Díaz Ballesteros, director del proyecto, por su valiosa colaboración, paciencia y continuo apoyo a la culminación de esta gran etapa

Al ingeniero Camilo Andrés Lesmes Fabián, Ph.D. docente e investigador de la Universidad Santo Tomás, por compartir su conocimiento en la realización de este proyecto, así como la proyección en el camino de la investigación.

Al ingeniero Marco Tulio Carvajal Manrique, gerente técnico de la empresa departamental por sus enseñanzas, colaboración y enorme paciencia para el desarrollo y culminación de este proyecto.

A Fredy Efrén Calvache, amigo y compañero de trabajo, por su apoyo colaboración y contribución en este proyecto.

A la empresa Departamental de Servicios Públicos de Boyacá S.A E.S.P (ESPB), a cargo de su gerente general la Ing. Gloria Luz Marietha Ávila Fernández, por permitirme la oportunidad de poder desarrollar el trabajo de grado, aplicando muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en pro de mi crecimiento personal y profesional.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	16
1.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	17
1.1.1	Recurso hídrico en el mundo	17
1.1.2	Condición hídrica en américa latina	18
1.1.3	Impacto del agua como recurso.....	18
1.1.4	Recurso hídrico y agua potable en Colombia.	19
1.1.5	Condiciones técnicas y de infraestructura para manejo del recurso hídrico	21
2	DEFINICION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	24
3	OBJETIVOS	25
3.1	OBJETIVO PRINCIPAL	25
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
4	METODOLOGÍA.....	26
4.1	Fase 1	27
4.1.1	Identificación de los componentes del sistema	27
4.1.2	Diagnóstico de pérdidas del subsistema de producción.....	29
4.1.3	Diagnóstico de pérdidas del subsistema de distribución	30
4.1.4	Diagnóstico Empresarial.....	34
4.2	FASE 2	36
4.2.1	Balance de Aguas	36
4.2.2	Análisis del índice de agua no contabilizada.....	37
4.2.3	ANÁLISIS DEL IMPACTO FINANCIERO.....	37
4.3	FASE 3	37
4.3.1	Plan de Manejo para Reducción de Pérdidas Técnicas.	38
4.3.2	Plan de Manejo para Reducción de Pérdidas Comerciales.	38
5	RESULTADOS	39
5.1	diagnostico técnico municipio de soracá.....	39
5.1.1	identificación de los componentes del SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN..	39
5.1.2	Identificación de los componentes del subsistema de distribución.....	46
5.1.3	DIAGNÓSTICO DE PERDIDAS EN el subsistema de producción.....	52

5.1.4	DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	55
5.1.5	DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL	63
5.1.6	BALANCE DE AGUAS	65
5.2	DIAGNOSTICO TECNICO MUNICIPIO DE ZETAQUIRA.....	67
5.2.1	identificación de los componentes del subsistema de producción	67
5.2.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	72
5.2.3	DIAGNÓSTICO DE PERDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN	79
5.2.4	DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	82
5.2.5	DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL	91
5.2.6	Balance de Aguas	93
5.3	diagnostico tecnico municipio de CUCaita	95
5.3.1	identificación de los componentes del SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN..	95
5.3.2	Identificación de los componentes del subsistema de distribución.....	98
5.3.3	DIAGNÓSTICO DE PERDIDAS DEL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN .	103
5.3.4	DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	105
□	Punto de mayor presión.....	109
5.3.5	DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL	110
5.3.6	Balance de Aguas	111
5.4	DIAGNOSTICO TECNICO MUNICIPIO DE SAMACÁ	113
5.4.1	identificación de los componentes del subsistema de producción	113
5.4.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	116
5.4.3	DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN	123
5.4.4	DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	126
5.4.5	DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL	134
5.4.6	BALANCE DE AGUAS	136
5.5	DIAGNOSTICO TECNICO MUNICIPIO DE tópaga	138
5.5.1	identificación de los componentes del subsistema de producción	138
5.5.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	142

5.5.3	Diagnóstico de pérdidas en el subsistema de producción.....	144
5.5.4	Diagnóstico de pérdidas en el subsistema de DISTRIBUCIÓN.....	146
5.5.5	Diagnóstico Empresarial.....	148
5.6	análisis del índice de agua no contabilizada	150
5.6.1	Soracá.....	151
5.6.2	Zetaquira	152
5.6.3	CUCAITA.....	153
5.6.4	SAMACÁ.....	153
5.6.5	Tópaga	154
5.6.6	Análisis de las posibles causas principales del IANC.....	154
5.7	análisis del impacto financiero	159
6	CONCLUSIONES.....	162
7	Recomendaciones.....	165
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	166

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. IANC por departamento.....	20
Figura 2. Fases del proyecto.....	26
Figura 3. Fase 1	27
Figura 4. Componentes de un sistema de acueducto	27
Figura 5. Fase 2	36
Figura 6. Fase 3	38
Figura 7. Esquema general del sistema de acueducto de Soracá.....	39
Figura 8. Plano tanque de almacenamiento del sistema	47
Figura 9. Topografía de la red de distribución.....	49
Figura 10. Mapa de pendientes de la red de distribución	50
Figura 11. Topología de la red.....	52
Figura 12. Curva de masas.....	56
Figura 13. Mapa de usuarios	57
Figura 13. Variación del consumo.....	58
Figura 15. Localización de puntos de monitoreo.....	60
Figura 16. Presión en los puntos de monitoreo.....	61
Figura 17. Modelo hidráulico de Soracá.....	62
Figura 18. Esquema general del sistema de acueducto de Zetaquirá.....	67
Figura 19. Topografía de la red de distribución.....	75
Figura 20. Mapa de pendientes de la zona de estudio	76
Figura 21. Topología de la red.....	78
Figura 22. Válvulas en la red de distribución.....	79
Figura 23. Curva de masas.....	83
Figura 24. Mapa de usuarios	84
Figura 25. Variación del consumo.....	85
Figura 26. Localización de puntos de monitoreo.....	87
Figura 27. Presión en los puntos de monitoreo.....	88
Figura 28. Plano de presiones en la hora de máximo consumo.....	89
Figura 29. Plano de presiones en la hora de mínimo consumo.....	90
Figura 32. Análisis de la red	91
Figura 30. Esquema general del sistema de acueducto de Cucaita.....	95
Figura 31. Plano tanque de almacenamiento del sistema	100
Figura 32. Topografía de la red.....	101
Figura 33. Mapa de pendientes de la red de distribución	102
Figura 34 curva de masas	106
Figura 35. Localización de puntos de monitoreo.....	108
Figura 36. Presión en los puntos de monitoreo.....	108
Figura 37. Esquema general del sistema de acueducto de Samacá.....	113
Figura 38. Topografía de la red de distribución de Samacá	118
Figura 39. Mapa de pendientes de la red de distribución.....	119
Figura 40. Topología de la red.....	121
Figura 41. Válvulas en la red de distribución.....	122

Figura 42. Válvula reductora de presión	123
Figura 43. Áreas aferentes en los nodos	128
Figura 44. Variación del consumo.....	129
Figura 45. Localización de puntos de monitoreo.....	130
Figura 46. Presión en los puntos de monitoreo.....	131
Figura 47. Plano de presiones en el escenario 1	132
Figura 48. Plano de presiones en el escenario 2	133
Figura 49. Esquema general del sistema de acueducto de Tópaga.....	138
Figura 50. Procesos en la planta de tratamiento.....	141
Figura 51. Sectores de abastecimiento.....	144
Figura 52. Usos del agua en Tópaga.....	148
Figura 53. Usuarios en la red de distribución	149
Figura 54. Niveles de pérdida en los cinco municipios.....	151
Figura 55. Componentes de las pérdidas reales de agua	155
Figura 56. Fuga de agua.....	156
Figura 57. Caudal de fuga calibración tipo 1	157
Figura 58. Impacto económico para el municipio de Soracá	159
Figura 59. Impacto económico para el municipio de Zetaquirá	160
Figura 60. Impacto económico para el municipio de Cucaita	160
Figura 61. Impacto económico para el municipio de Samacá	161

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Proyección de Niveles Eficientes de Pérdidas de Agua.	22
Tabla 2. Factor de investigación	33
Tabla 3. Análisis de la red.....	34
Tabla 4. Características físicas del tanque de almacenamiento.....	46
Tabla 5. Diagnóstico rápido de la red.....	51
Tabla 6. Diagnóstico en la captación	53
Tabla 7. Diagnóstico de la aducción	53
Tabla 8. Diagnóstico captación	53
Tabla 9. Diagnóstico línea de aducción	54
Tabla 10. Diagnóstico captación	54
Tabla 11. Diagnóstico línea de aducción.	54
Tabla 12. Diagnóstico global de la planta de tratamiento.....	55
Tabla 13. Diagnóstico de capacidad de la planta.....	55
Tabla 14. Diagnóstico de caudales y estanquidad en el tanque.....	56
Tabla 15. Comportamiento del agua en el tanque de almacenamiento.....	59
Tabla 16. Puntos Monitoreados	59
Tabla 17. Análisis de la red.....	62
Tabla 18. Consumos facturados	63
Tabla 19. Análisis Consumos facturados.	63
Tabla 20. Balance de aguas	65
Tabla 20. Línea de aducción.....	69
Tabla 22. Diagnóstico de los tanques de almacenamiento	73
Tabla 23. Diagnóstico rápido de la red.....	77
Tabla 24. Diagnóstico de la captación	80
Tabla 25. Diagnóstico del desarenador.....	80
Tabla 26. Diagnóstico de la aducción	81
Tabla 27. Diagnóstico global de la planta de tratamiento.....	81
Tabla 28. Diagnóstico de capacidad de la planta.....	82
Tabla 29. Diagnóstico de caudales y estanquidad en el tanque.....	82
Tabla 30 Comportamiento del agua en el tanque de almacenamiento.....	86
Tabla 31. Puntos monitoreados	87
Tabla 33. Consumos Facturados.....	91
Tabla 34. Análisis consumos facturados.....	92
Tabla 35. Balance de Aguas.....	93
Tabla 36: Características Físicas del tanque de Almacenamiento	99
Tabla 37: Diagnóstico rápido de la red.....	103
Tabla 38. Diagnóstico en la Captación.....	103
Tabla 39. Diagnóstico del desarenador.....	103
Tabla 40. Diagnóstico de la aducción	104
Tabla 41. Diagnóstico global de la planta de tratamiento.....	104
Tabla 42. Diagnóstico de capacidad de la planta.....	105
Tabla 43. Diagnóstico de caudales y estanquidad en el tanque.....	105

Tabla 44. Comportamiento del agua en el tanque de almacenamiento 1	106
Tabla 45. Comportamiento del agua en el tanque de almacenamiento 2	107
Tabla 46. Puntos Monitoreados	107
Tabla 47. Análisis de la red	109
Tabla 48. Consumos facturados	110
Tabla 49. Consumos facturados	110
Tabla 50 Balance De Aguas	111
Tabla 51. Línea de aducción	115
Tabla 52. Diagnóstico de los tanques de almacenamiento	116
Tabla 53. Diagnóstico rápido de la red	120
Tabla 54. Diagnóstico de la Captación	123
Tabla 55. Diagnóstico de la Captación	124
Tabla 56. Diagnóstico del desarenador	124
Tabla 57. Diagnóstico de la aducción	125
Tabla 58. Diagnóstico global de la planta de tratamiento	125
Tabla 59. Diagnóstico de capacidad de la planta	125
Tabla 60. Diagnóstico de caudales y estanqueidad en el tanque	127
Tabla 61. Puntos monitoreados en la red	129
Tabla 62. Análisis de la red	134
Tabla 63. Consumos facturados	134
Tabla 64. Consumos facturados	135
Tabla 65. Balance de Aguas	136
Tabla 66. Línea de aducción	139
Tabla 67. Diagnóstico de los tanques de almacenamiento	142
Tabla 68. Diagnóstico de la captación	145
Tabla 69. Diagnóstico de la aducción	145
Tabla 70. Diagnóstico global de la planta de tratamiento	146
Tabla 71. Diagnóstico de capacidad de la planta	146
Tabla 72. Diagnóstico de caudales y estanqueidad en el tanque	147
Tabla 73. Análisis de la red	148
Tabla 73. Tarifas básicas	149
Tabla 74. Resumen de los cinco municipios	150

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Estructura almacenamiento	40
Fotografía 2. Unidad de captación de flujo.....	40
Fotografía 3. Bocatoma lateral.....	41
Fotografía 4. Cámara de recolección	41
Fotografía 5. Vista general de la caseta.....	42
Fotografía 6. Tanque	42
Fotografía 7. Macromedidor 1	43
Fotografía 8. Macromedidor 2.....	43
Fotografía 9. Estructura de entrada	44
Fotografía 10. Vertedero de entrada.....	44
Fotografía 11. Filtro dinámico	44
Fotografía 12. Filtro dinámico	44
Fotografía 13. Filtro ascendente	45
Fotografía 14. Lecho filtrante	45
Fotografía 15. Filtro lento.....	45
Fotografía 16. Cámara de desagüe	45
Fotografía 17. Tanque de Almacenamiento	48
Fotografía 18. Tubería de entrada el manzano	48
Fotografía 19. Macromedidor 1	48
Fotografía 20. Macromedidor 2.....	48
Fotografía 21. Bocatoma de fondo.....	68
Fotografía 22. Bocatoma lateral.....	68
Fotografía 23. Desarenador.....	69
Fotografía 24. Salida del desarenador	69
Fotografía 25. Macromedidor de entrada	70
Fotografía 26. Filtros rápidos	71
Fotografía 27. Válvulas de compuerta	71
Fotografía 28. Tanques de almacenamiento.....	72
Fotografía 29. Tanque 1	73
Fotografía 30. Tubería salida del tanque 1.....	73
Fotografía 31. Unión de las tuberías	74
Fotografía 32. Macromedidor de salida.....	74
Fotografía 33. Actualización catastro	77
Fotografía 34. Válvula en la red	77
Fotografía 35. Válvula con fuga	82
Fotografía 36 Fugas de agua.....	82
Fotografía 37. Embalse Pijaos.....	96
Fotografía 38: Macromedidor de entrada a la planta de tratamiento.	97
Fotografía 39: Procesos de Tratamiento Potabilización del Agua	97
Fotografía 40. Filtro lento.....	98
Fotografía 41. Filtro Lento.....	98
Fotografía 42: Tanques de almacenamiento.....	99

Fotografía 43. Macromedidor de salida.....	100
Fotografía 44. Desarenador.....	114
Fotografía 45. Plantas de Tratamiento Compactas	¡Error! Marcador no definido.
Fotografía 46. Aforo caudal de entrada a la PTAP	¡Error! Marcador no definido.
Fotografía 47. Tanques de almacenamiento.....	116
Fotografía 48. Tanques de almacenamiento.....	116
Fotografía 49. Macromedidores	117
Fotografía 50. Macromedidor Sector Centro	117
Fotografía 51. VRP	122
Fotografía 52. VRP	122
Fotografía 53. Macromedidor Sector Centro	126
Fotografía 54. Bocatoma	139
Fotografía 55. Válvula de corte	139
Fotografía 56. Línea de aducción	140
Fotografía 57. Cámara de quiebre	140
Fotografía 58. Planta de tratamiento.....	140
Fotografía 59. Medidor de entrada.....	140
Fotografía 60. Tanque N°1	143
Fotografía 61. Tanque N°1	143
Fotografía 62. Tanque N° 2	143
Fotografía 63. Tanque N° 2	143

1 INTRODUCCIÓN

Se estima que 663 millones de personas carecen de acceso inmediato a fuentes mejoradas de agua potable, mientras que el número de personas sin un acceso fiable a un agua de calidad lo suficientemente buena como para que resulte segura para el consumo humano, asciende a 1800 millones por lo menos, e incluso es probable que sea significativamente mayor. Se considera fundamental mejorar la eficiencia en el uso del agua para hacer frente a la brecha del 40 % entre la oferta y la demanda y mitigar la escasez del agua en 2030.

Los cálculos indican que alrededor del 30 % de la extracción del agua mundial se pierde por fugas. Dado el crecimiento de la urbanización y el aumento de la demanda de agua, es absolutamente indispensable mejorar la eficiencia del uso del agua y reducir las fugas a través del mantenimiento y la mejora de infraestructuras obsoletas.

El desarrollo científico económico y legislativo, ha emprendido acciones en busca de conservar cada vez más las fuentes del recurso hídrico y el manejo que se le da a este. En medio del crecimiento industrial y demográfico que cada vez demanda una mayor cantidad para su sostenibilidad, todo esto enmarcado en una problemática que cada vez más obliga a emprender acciones ambientales en búsqueda de preservar el recurso hídrico.

En la actualidad, los acueductos presentan inconvenientes asociados a pérdidas de agua, que ocurren desde el momento en el que se capta el líquido hasta que llega finalmente a el usuario, pérdidas generadas por fallas técnicas en las estructuras de conducción, tratamiento y distribución, que según la legislación colombiana por medio de la ley 373 de 1997 para uso eficiente y ahorro del agua, todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Hasta la fecha esto no se adopta y en jurisdicción de Corpoboyacá no se ha aprobado ninguno, según profesionales de esta corporación (comunicación personal, 4 de febrero, 2018).

El indicador por el cual las empresas prestadoras y reguladoras del servicio de agua potable miden las pérdidas en los sistemas de acueductos, es el Índice de Agua No Contabilizada (IANC), que es un valor porcentual que compara el caudal que se capta, conduce y procesa, respecto al que cobra y entrega a los usuarios. Este valor no solo representa las pérdidas del volumen de agua, sino también las pérdidas económicas que enfrentan los administradores del recurso y que podrían ser

destinadas para aumento de cobertura, mejorar la calidad y tener una transformación empresarial.

1.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1.1 RECURSO HÍDRICO EN EL MUNDO

El acceso al agua potable y al saneamiento es esencial para los derechos humanos, la dignidad y la supervivencia de mujeres y hombres de todo el mundo, en especial los más desfavorecidos. También es decisivo para avanzar en la consecución de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en su conjunto, puesto que el agua es un hilo conductor de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus metas interrelacionadas¹.

El agua es un componente esencial de las economías nacionales y locales, y es necesaria para crear y mantener los puestos de trabajo en todos los sectores de la economía. La mitad de la mano de obra mundial esta empleada en ocho sectores que dependen del agua y de los recursos naturales: agricultura, bosques, pesca, energía, producción con uso intensivo de recursos, reciclaje, construcción y transportes².

Aunque el 70 por ciento de la superficie del mundo está cubierta por agua, solamente el 2.5 por ciento del agua disponible es dulce, mientras que el restante 97.5 por ciento es agua salada. Casi el 70 por ciento del agua dulce está congelado en los glaciares y la mayor parte del resto se presenta como humedad en el suelo, o yace en profundas capas acuíferas subterráneas inaccesibles. Menos del 1 por ciento de los recursos de agua dulce del mundo están disponibles para el consumo humano³.

La presión de las actividades humanas a escala global está deteriorando la capacidad de los ecosistemas acuáticos para cumplir con sus funciones esenciales, lo que perjudica la calidad de vida y el desarrollo social. Básicamente esas intervenciones humanas se dan a través del sobreuso del recurso, la

¹ BOKOVA, Mensaje con motivo del día mundial del agua, Unesco, 2017.

² WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), Informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, 2016.

³ ONU, Cumbre de Johannesburgo, 2002.

contaminación, la sobrepesca y la modificación del hábitat acuático. El cambio climático aparece como un quinto componente que exacerba a los otros cuatro⁴.

1.1.2 CONDICIÓN HÍDRICA EN AMÉRICA LATINA

La región de América Latina y el Caribe tiene abundantes recursos hídricos, pero estos varían de manera significativa en toda la región⁵. En Uruguay más del 96% de la población cuenta con acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas, frente a menos de la mitad de la población en Bolivia (46 %) y casi la cuarta parte (24 por ciento) en Haití. A pesar que Latinoamérica cuenta con alrededor del 31 por ciento de las fuentes de agua potable en el mundo, podría ser una de las regiones más afectadas en una eventual crisis provocada por cambio climático⁶.

Con el 33% de los recursos hídricos renovables del mundo, Latinoamérica es el continente con la disponibilidad más alta del mundo. Sus 3100 m³ de agua per cápita por año, duplican el promedio per cápita mundial. La gran mayoría de los países de la región cuentan con disponibilidades catalogadas entre altas y muy altas en razón de su superficie y población. La disponibilidad del recurso no significa que éste sea accesible a la totalidad de la población. Esto implica que la mayoría de los países que cuentan con niveles de disponibilidad altos, experimenten disminuciones en los niveles de cobertura de agua potable para sus poblaciones⁷.

Uno de los mayores inconvenientes que se presentan en la actualidad en América Latina, es que un 45% del agua se pierde antes de llegar al cliente. Esta pérdida, no se le puede facturar a nadie, complicando el reto de aumentar el acceso a agua potable.⁸

1.1.3 IMPACTO DEL AGUA COMO RECURSO

El agua impregna todos los aspectos de la vida en la Tierra. Al igual que el aire que respiramos, el agua sostiene la vida humana, animal y vegetal. Proporciona servicios vitales para la salud humana, los medios de subsistencia y el bienestar y contribuye a la sostenibilidad de los ecosistemas⁹.

⁴ GIWA (Global International Waters Assessment), The GIWA Final Report Challenges to international waters, 2010.

⁵ WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), Informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, 2016.

⁶ BANCO MUNDIAL, Artículo América Latina ¿Por qué las empresas de agua y saneamiento intentan ahorrar energía?, 2015.

⁷ TLA (Tribunal Latinoamericano del Agua), Situación hídrica en américa latina, 2011.

⁸ BANCO MUNDIAL. Op. Cit., p. 1.

⁹ WWAP. Op. Cit., p. 10.

Las medidas de mejora de la gestión de los recursos hídricos han mostrado unas considerables ganancias económicas. Una inversión de entre US\$ 15.000 y US\$ 30.000 millones en la mejora de la gestión de los recursos hídricos en los países en desarrollo puede dar unos beneficios anuales directos del orden de US\$ 60.000 millones de dólares estadounidenses. Cada dólar que se invierte en la protección de las cuencas hidrográficas puede ahorrar entre 7,5 y 200 dólares en costes para nuevas instalaciones de tratamiento y filtración de aguas¹⁰.

Se calcula que tres de cada cuatro empleos en el mundo dependen en mayor o menor medida del agua. La escasez de agua potable y los problemas de acceso a ella y al saneamiento pueden por lo tanto limitar el crecimiento económico y la creación de empleo en los próximos decenios. Cabe resaltar que en la actualidad la mitad de los 1.500 millones de trabajadores del planeta están empleados en ocho de los sectores más dependientes del agua, notablemente un factor que activa la economía¹¹.

1.1.4 RECURSO HÍDRICO Y AGUA POTABLE EN COLOMBIA.

Por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, cuando se considera en detalle que la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades hídricas insatisfechas de los ecosistemas y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor¹².

Actualmente en Colombia las mayores pérdidas de agua en los acueductos (niveles superiores al 60 %) se observan en municipios con población de entre 10 mil y 100 mil habitantes, principalmente con prestación directa por las direcciones municipales, donde también se encuentran los menores índices de micromedición, lo que a su vez dificulta el control de pérdidas¹³.

El 28 % de la población rural de Colombia enfrenta una situación crítica por la falta de acueducto, por lo que miles de personas se les dificulta para poder consumir agua de pozos y ríos, y se exponen así a enfermedades¹⁴.

¹⁰ SIWI, Making Water a Part of Economic Development, 2005, P 5.

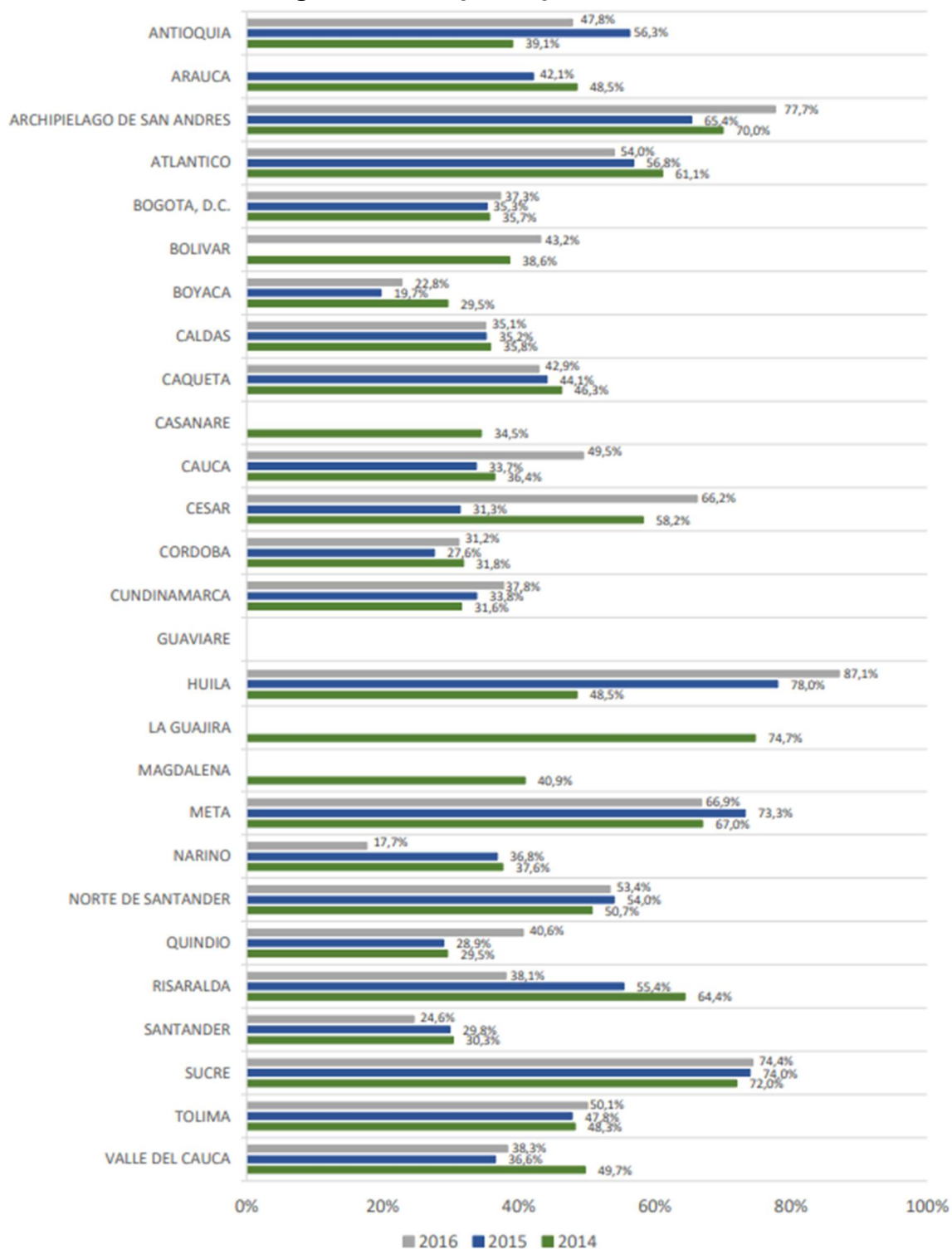
¹¹ WWAP. Op. Cit., p. 10.

¹² MAVDT (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial), Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico. 2010, P 23.

¹³ SALINAS, Retos a futuro en el sector de acueducto y alcantarillado en Colombia, 2011, P 8.

¹⁴ EL TIEMPO, ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?, 2015.

Figura 1. IANC por departamento.



Fuente: Informe Sectorial de Acueducto y Alcantarillado, 2016

En la figura 1, se observa que aún existen dificultades a nivel técnico en la reducción de los niveles de pérdidas, debido a que algunos prestadores alcanzan niveles mayores al 70%, lo cual es señal también de la eficiencia con la que se está prestando el servicio a los usuarios y los costos que debe asumir la empresa

Por otra parte, los departamentos con los índices de pérdidas más grandes corresponden al archipiélago de San Andrés providencia y santa catalina con un 77%, la Guajira con un 74% y Córdoba y Meta con un 66% donde adicionalmente, se presenta baja disponibilidad de las fuentes de abastecimiento durante las temporadas secas o la ocurrencia de eventos extremos generados por la variabilidad climática¹⁵.

En la Guajira se pierde el 82% del agua potable. A nivel nacional el valor de pérdidas en los acueductos es de 43%¹⁶. Estas son algunas cifras que muestran la necesidad de plantear acciones que permitan soluciones inmediatas que lleven a administrar el recurso de una manera adecuada y consciente del recurso principal de vida.

1.1.5 CONDICIONES TÉCNICAS Y DE INFRAESTRUCTURA PARA MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO

Las infraestructuras para reducir el riesgo de escasez de agua y gestionar los desastres relacionados con los recursos hídricos pueden hacer que los esfuerzos de un país para desarrollarse resulten más sostenibles reduciendo su vulnerabilidad y/o aumentando la resiliencia de las economías ante acontecimientos extremos¹⁷.

Las condiciones técnicas que se pueden recuperar como parte de la gestión de reducción de pérdidas son las generadas por fugas en la red de distribución. Las pruebas de descarga por fuga muestran que la pérdida de agua de un agujero circular único con 6 mm de diámetro en una tubería de distribución a una presión de 60 metros columna de agua resulta en 1,8 m³ por hora o 1.300 m³ al mes. Este caudal sería suficiente para llenar una piscina olímpica (50 x 25 x 2 = 2.500 m³) en menos de dos meses¹⁸.

¹⁵ SUPERSERVICIOS, Estudio Sectorial de los Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado, 2016, p 32.

¹⁶ DNP, En la guajira se pierde el 82% del agua potable, 2015.

¹⁷ WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), Informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, 2015, p 4.

¹⁸ GIZ, Guía para la reducción de las pérdidas de agua, 2010, p 32.

Por ejemplo, en el caso de Alemania, que es uno de los donantes más importantes del mundo en el ámbito del agua y saneamiento, y el más importante en Europa. Anualmente, el Gobierno alemán dedica alrededor de 350 millones de euros a intervenciones relacionadas con el agua, y se estima que las actividades en curso en el sector del agua benefician a unos 80 millones de personas que se ve reflejado en un porcentaje de pérdidas de apenas 5%. Siendo la reducción de la pérdida de agua un aspecto importante en los proyectos de desarrollo. Muchos países ya cuentan con una estrategia de gestión del agua, y en general la reducción de la pérdida de agua se considera un tema importante¹⁹.

Para el caso de Bogotá se estima según funcionarios de la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de Bogotá EAB-ESP, del 36% de las pérdidas con las que cuentan actualmente tienen causas técnicas, como la ruptura de tubos, el robo de contadores, fugas en las tuberías, entre otras y representan entre el 40 y el 50% del agua que no se contabiliza en la ciudad²⁰. Poniendo un panorama relevante para centrar las actividades en acciones que lleven a reducir de alguna manera estas pérdidas incluso para la capital de Colombia.

La recomendación que arrojó el estudio adelantando por la Comisión: “Reducción de Pérdidas Agua Potable y Reforma del Marco Regulador de Colombia”, presentado por la firma International Consulting Corporation –ICC, en el marco de la donación por parte de la Agencia de Comercio y Desarrollo de los Estados Unidos de América y cuyo objetivo principal era definir los niveles eficientes de pérdidas de agua, que deben ser aceptados desde el punto de vista regulatorio (CRA , 2007), fue la siguiente:

Tabla 1. Proyección de Niveles Eficientes de Pérdidas de Agua.

TIPO DE EMPRESA	IANC 2006	IANC 2009	IANC 2016
MAYORES A 600.000 HABITANTES	42,50%	25,30%	22,40%
ENTRE 12.000 Y 600.000	55,10%	22,20%	18,70%
MENORES A 12.000 HABITANTES	45,90%	20,20%	16,50%

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Los valores definidos como marco regulatorio establecidos en el estudio hecho por la ICC y resumidos en la tabla 1, evidentemente no se han podido cumplir por la falta de esfuerzos hechos por las empresas administradoras de los servicios

¹⁹ Ibid., p. 10.

²⁰ EL TIEMPO, El 36% del agua que se consume no se factura, 2017.

públicos en Colombia y toda la problemática que se genera a nivel nacional y que esta explicada en la sección de la problemática de este estudio.

El presente estudio determinó el Índice De Agua No Contabilizada (IANC) que presentan los acueductos de cinco municipios de sexta categoría con el fin de establecer las pérdidas por cada subcomponente del sistema de acueducto y definir actividades que lleven a la reducción de estas pérdidas. Los cinco municipios priorizados por el Plan Departamental de Aguas corresponden a Soracá, Cucaita, Samacá, Zetaquira y Tópaga.

2 DEFINICION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

Más de la mitad de la población vive en áreas urbanas y va creciendo de manera acelerada, siendo necesario aumentar constantemente la cobertura de redes para proveer del recurso hídrico a más comunidades. Normalmente estas ampliaciones están supeditadas a la disponibilidad del recurso hídrico y económico siendo fundamental reducir las pérdidas que se generan en los sistemas de acueducto y así lograr un menor desperdicio de agua potable y un recaudo económico mayor para que estas empresas prestadoras funcionen de manera sostenible y logren una transformación empresarial en un contexto de sostenibilidad ambiental y financiera.

Los prestadores del servicio de agua potable en municipios menores a 12.000 habitantes, presentan deficiencias en el suministro del recurso, que están asociadas a desconocimiento técnico de operación de la red y a su vez carecen de control y vigilancia de la cantidad del recurso que se administra por ellos mismos, generándose pérdidas en el sistema de acueducto en el paso del recurso desde la captación, hasta el momento en el que llega al usuario. La atención y acompañamiento a estas poblaciones debe ser representativa, teniendo en cuenta que estos municipios representan más del 80% de los municipios en Colombia y administran el recurso asumiéndolo como una fuente inagotable inmune al cambio climático.

El problema fundamental parte de que los administradores del recurso desconocen el valor del índice de agua no contabilizada, al no hacer un diagnóstico técnico y administrativo en cuanto a las condiciones de operación del sistema de acueducto, lo que genera que no se implemente un programa de reducción de pérdidas o se definan actividades encaminadas al control y reducción de este índice, que traería como respuesta una mejor gestión del recurso y un aprovechamiento adecuado del mismo.

Los beneficios que trae consigo la reducción del índice de agua no contabilizada, es decir, ejecutar proyectos de reducción de pérdidas, produciría un impacto ambiental positivo al tener que extraer menor cantidad del recurso de las fuentes de abastecimiento o aplazar la necesidad de disponer de una fuente alterna. La reducción de pérdidas también trae beneficios sociales ya que, al contar con más recurso hídrico disponible en el sistema, podría aumentarse la cobertura y brindar el recurso a más ciudadanos, como parte del crecimiento demográfico que aumenta constantemente.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar y analizar el índice de agua no contabilizada IANC, mediante la metodología propuesta por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial²¹, para cinco municipios priorizados en la Empresa Departamental de Servicios Públicos de Boyacá SA ESP y presentar posibles soluciones generales para el control de pérdidas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información técnica, operativa y empresarial existente del sistema de acueducto de cinco municipios priorizados en la Empresa Departamental de Servicios Públicos de Boyacá SA ESP.
- Calcular los volúmenes de pérdida de agua en los diferentes procesos del sistema de acueducto y determinar el impacto financiero en las empresas de servicios domiciliarios.
- Analizar los valores del índice de agua no contabilizada de los cinco municipios y establecer las posibles causas principales.
- Establecer un esquema general que contenga acciones necesarias para disminuir el índice de agua no contabilizada

²¹ Actualmente Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

4 METODOLOGÍA

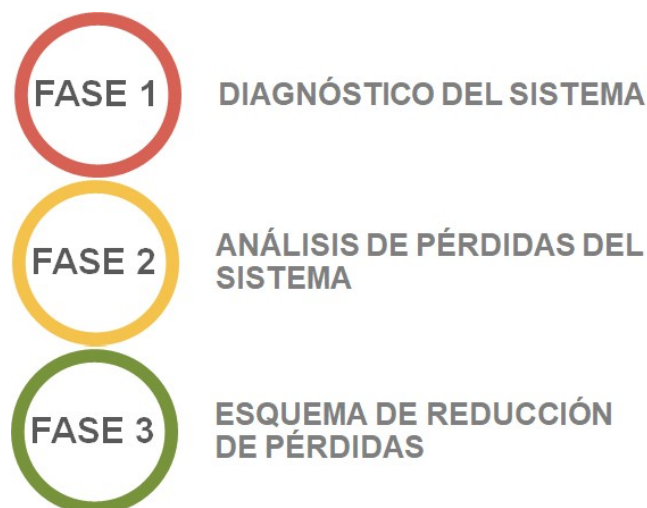
El presente documento toma como base la metodología definida por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, dentro de la serie llamada “Cultura empresarial” enfocada a municipios menores y zonas urbanas específicas. La guía sobre el tema de agua no contabilizada ha sido preparada pensando en los pequeños municipios, en sus limitaciones, pero también en su decisión y capacidad para cumplir con esmero la responsabilidad constitucional de asegurar la prestación eficiente de agua potable²².

Debido a las restricciones de disponibilidad de información y a las problemáticas propias de cada municipio fue necesario ajustar dicha metodología general, por tanto, se presenta a continuación la metodología ajustada y utilizada para el cumplimiento de cada uno de los objetivos del estudio.

La Empresa Departamental de Servicios Públicos de Boyacá S.A E.S. P, actualmente tiene vinculados a 92 municipios, de los cuales esta priorizó cinco (5) municipios para realizar el programa de agua no contabilizada.

En general se plantean tres fases generales para la realización del proyecto, las cuales se relacionan a continuación.

Figura 2. Fases del proyecto



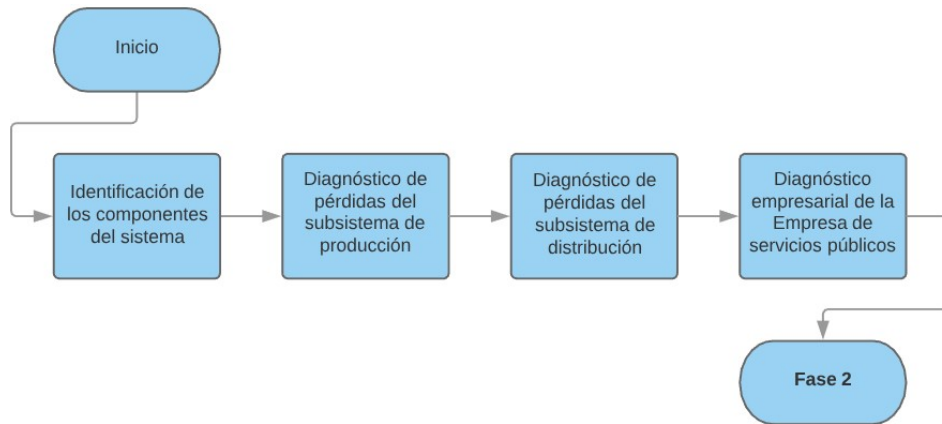
Fuente: El autor

²² MAVDT, Agua No contabilizada Municipios Menores y Zonas Rurales, 2008.

4.1 FASE 1

Esta fase presenta el procedimiento, con el cual se dará solución al objetivo N° 1, planteado en el proyecto.

Figura 3. Fase 1

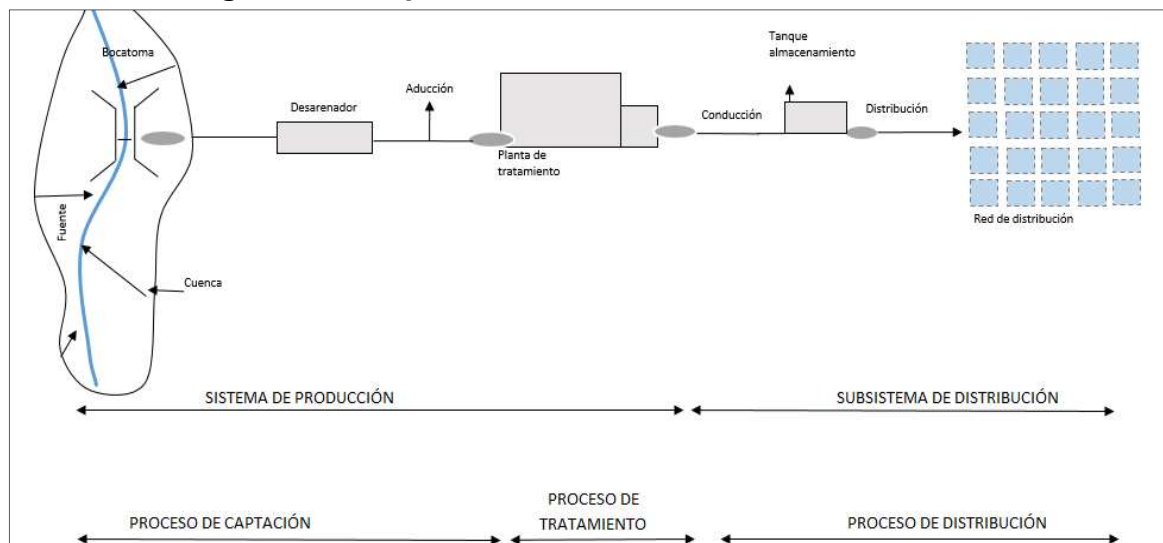


Fuente: El autor

4.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

Un sistema de acueducto se divide en un subsistema de producción y un subsistema de distribución, el primer paso de la fase 1, corresponde a identificar cada uno de los subsistemas y sus respectivos procesos, con el fin de delimitar las áreas de análisis y así determinar el nivel de pérdidas de cada subsistema.

Figura 4. Componentes de un sistema de acueducto



Fuente: Ministerio de Ambiente vivienda y Desarrollo Territorial

4.1.1.1 Identificación de los componentes del subsistema de producción

Esta actividad empieza por recopilar toda la información de cada uno de los procesos del sistema como lo son memorias de cálculo, planos generales y detallados, de cada una de las estructuras que hacen parte de los subsistemas de producción y distribución.

Posteriormente se hace una verificación en campo de los planos recopilados, con el fin de comprobar la veracidad de la información y complementar con la toma de medidas estructuras o accesorios que no están incluidos o de los cuales no se dispone información alguna.

4.1.1.2 Identificación de los componentes del subsistema de distribución

4.1.1.2.1 Topografía del casco urbano

Con el fin de representar las elevaciones de la zona de estudio y de cada uno de los puntos de la red de distribución, es necesario contar con los levantamientos topográficos existentes en el plan maestro de acueducto y alcantarillado. La topografía es la base para realizar un análisis de presiones mediante un plano de elevaciones y de pendientes en un sistema de información geográfica.

4.1.1.2.2 Catastro de la red de distribución.

El primer procedimiento consiste con base a los registros de quejas de daños en la red, existentes en la Empresa de Servicios Públicos del municipio, realizar la localización y clasificación de los daños en las redes ocasionados por fugas visibles y no visibles que afectan el correcto funcionamiento del sistema.

Paso seguido es necesario ejecutar el catastro de redes de la red de distribución, en el caso de contar con un plan maestro u otros estudios que contengan un catastro de la red, es primordial realizar la actualización, mediante un plano general de las redes de distribución, localizando sobre este las tuberías principales y secundarias, diámetros, material, longitud, válvulas y estado de las válvulas.

El procedimiento antes descrito permite obtener la topología del sistema, que corresponde a la estructura física de la red para posteriormente ser trabajada en un sistema de información geográfica, mediante la herramienta de representación cartográfica ArcMap.

4.1.2 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS DEL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

El diagnóstico técnico en los componentes del subsistema de producción busca establecer el estado físico, volumen de fugas, así como los caudales de operación de las diferentes estructuras que componen la captación, desarenador, línea de aducción, línea de conducción y planta de tratamiento de agua potable, de manera que se logre determinar las condiciones de funcionamiento y el nivel de pérdidas de agua el subsistema. La evaluación de cada uno de estos aspectos permitirá posteriormente realizar el balance de aguas del sistema.

Para establecer el estado físico de los componentes del subsistema de producción, es necesario evaluar cada uno de los accesorios que integran el funcionamiento de las estructuras en el subsistema de producción, como válvula de control del flujo, válvula ventosa, válvula de purga y cámaras de quiebre, identificando principalmente la edad, características físicas y fugas.

Realizada la evaluación anterior con el fin de establecer el estado, se asignará como estado bueno, cuando la estructura no presente fugas y no se encuentre deteriorada, así como poseer la totalidad de los accesorios, en este mismo sentido se le asignará como estado malo, cuando se presenten fugas y la estructura se encuentre deteriorada, y estado regular en el escenario intermedio a los anteriores descritos.

Con el fin de establecer el caudal de operación de cada una de las estructuras y tuberías, a continuación, se presenta el procedimiento propuesto por el MAVDT:

- Hacer una revisión de las memorias de cálculo y mediante un análisis hidráulico determinar el caudal de operación. En el caso de no contar con memorias de cálculo, determinar el caudal por medio de la medición directa del caudal mediante aforos volumétricos en la entrada y salida de cada una de las diferentes estructuras que componen el subsistema.
- Medición del caudal por medio de los medidores mecánicos, ubicados en la entrada y salida de cada una de las estructuras de los procesos del subsistema. Un segundo método corresponde a la medición del caudal por medio de la instalación de equipos electrónicos especiales.
- Prueba de estanqueidad en la planta de tratamiento: Permite conocer las pérdidas de agua, ocasionadas por fisuras y porosidades en las diferentes estructuras, así como también filtraciones en tuberías y válvulas que integran el sistema, por tanto, el ensayo consiste en la medición del caudal mediante

método volumétrico en el sistema general de desagüe de la planta de tratamiento.

4.1.3 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El diagnóstico técnico en los componentes del subsistema de distribución busca establecer el estado físico, los caudales de operación y el nivel de fugas del proceso de distribución compuesto por el tanque de almacenamiento y la red de distribución. La evaluación de cada uno de estos aspectos permitirá posteriormente realizar el balance de aguas del sistema.

4.1.3.1 Diagnóstico de pérdidas en el tanque de almacenamiento

En el diagnóstico técnico del tanque de almacenamiento, se determina las características físicas y los caudales de operación, condiciones de funcionamiento y el nivel de pérdidas de agua en el tanque.

4.1.3.1.1 Caudal de operación

Determinar el caudal de entrada y salida del tanque: El caudal de operación de entrada y salida se calcula por un lapso de 24 horas, mediante algunos de los siguientes procedimientos:

- Realizar una revisión de las memorias de cálculo
- Equipos mecánicos de medición, como macromedidores en la entrada y salida en la estructura
- Aforos volumétricos en la estructura de entrada y salida.

4.1.3.1.2 Elaboración de curva de masas

Es el gráfico que presenta las variaciones del nivel del agua en la estructura, en un periodo continuo de 24 horas. Esta información se obtiene a partir de una medición manual (por ejemplo, lecturas con mira o sobre regleta) o con equipos de ultrasonido instalados en el interior del tanque. Con estos datos se puede establecer si el tanque tiene: almacenamiento suficiente y compensación adecuada. El nivel se mide como la altura entre el fondo del tanque y la superficie libre del agua que contiene.

4.1.3.1.3 Prueba de Estanqueidad en el Tanque de Almacenamiento

Permite conocer las pérdidas de agua, ocasionadas por fisuras y porosidades en las estructuras de concreto, así como también filtraciones en tuberías y accesorios como válvulas de lavado o desagüe, que son parte de la operación de las estructuras. El ensayo se realiza a través de un método que consiste en aforar el volumen de agua de fuga en un determinado lapso.

4.1.3.2 Diagnóstico de pérdidas en la red de distribución

El diagnóstico técnico en la red de distribución busca establecer el estado físico, así como los caudales de operación y las condiciones de funcionamiento de la red.

El MAVDT en la metodología establecida, no presenta el procedimiento detallado del desarrollo de un modelo hidráulico que permita evaluar la red de distribución, no obstante, con el fin de realizar el diagnóstico planteado detallado de la red de distribución se establece a continuación la metodología para la evaluación hidráulica de la red a través de un modelo de simulación en el software WaterGEMS V8, con el fin de establecer el plano de presiones en el escenario de operación actual del sistema.

4.1.3.2.1 Cálculo y asignación de la demanda

La demanda corresponde al consumo de los usuarios conectados a la red de distribución y el procedimiento para su cálculo es el siguiente:

- Determinación de consumos mediante la facturación

Corresponde a la determinación de los consumos mediante la información empresarial referente a facturación, en donde se calcula para los usuarios el volumen promedio consumido en los últimos seis meses de facturación y este valor corresponderá a la dotación neta de la red de distribución.

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{(1 - \%P)}$$

%P; corresponde a las pérdidas técnicas en la red de distribución.

A partir de la dotación neta, se procede a calcular la dotación bruta, la cual considera un 25 % de pérdidas técnicas en la red de distribución, según el reglamento del sector de agua potable y saneamiento básico, sin embargo, con el fin de representar el escenario actual de operación del sistema, el porcentaje de pérdidas técnicas en la red, se considerará como el índice de agua no contabilizada.

Por tanto, el valor de dotación bruta se considerará como el caudal medio diario para los usuarios, en el modelo hidráulico se denominará demanda base.

- Distribución espacial de la demanda

Para la ubicación espacial de los respectivos consumos es posible, llevar a cabo dos procedimientos, a). Asignación de consumos mediante la ubicación espacial de los micromedidores, b). Asignación de consumos mediante áreas aferentes a los nodos de la red.

- Variación de la demanda

La demanda de cada uno de los usuarios en la red, presenta variaciones durante las veinticuatro horas del día, así como en los diferentes días de la semana. Por tanto, para el cálculo de la variación de la demanda de los usuarios o determinación del patrón de consumo se considera la variación del volumen de agua suministrado por el tanque de almacenamiento y medido mediante el macromedidor de salida, generando una curva de variación durante veinticuatro horas y que se adoptara como representativa de la red.

Debido a limitaciones existentes para realizar la medición en diferentes días, con el fin de obtener la variación del consumo, este patrón de consumo se determinará en el ensayo de pitometría.

4.1.3.2.2 Ensayo de pitometría en la red de distribución

El ensayo de pitometría consiste en medición de la variación de la lámina de agua en el tanque de almacenamiento, junto con la medición de la presión en las tuberías de distribución a diferentes horas del día en una serie de zonas críticas y representativas de la red, con el fin de establecer el plano de presiones de operación actual del sistema.

La ubicación de los equipos para realizar la medición de la presión en las tuberías se realiza en zonas bajas y alejadas de la red, ya que en estas zonas se presentará la mayor carga hidrostática, permitiendo así analizar los puntos críticos de la red de distribución.

- Continuidad del sistema.

Establecer la operación actual del sistema en lo que refiere a continuidad del servicio de acueducto, periodos de suspensión por zonas, válvulas de cierre y sectores hidráulicos definidos, con el fin de establecer la operación del sistema de distribución.

- Plan de monitoreo

El plan de monitoreo consiste en la medición durante 24 horas, registrando cada hora, las lecturas correspondientes a la variación de la lámina de agua en el tanque, así como las presiones indicadas por los manómetros ubicados en la red de distribución.

- Factor de investigación

El caudal promedio diario (Qpd) medido en las 24 horas y el caudal mínimo nocturno (Qmn) generado entre la 1 am y 4 am, junto con el caudal mínimo nocturno

conocido, correspondiente a los consumos generados por actividades comerciales e industriales en el caso de existir, permiten determinar el factor de investigación (FI), que evalúa la necesidad o prioridad de buscar fugas.

$$Qpd = \frac{\text{Lectura final} - \text{Lectura inicial (lps)}}{\text{Tiempo transcurrido entre lecturas (seg)}}$$

$$Qmn = \frac{\text{Promedio caudales entre 1 am y 4 am(lps)}}{4}$$

$$FI = \frac{\text{Caudal mínimo nocturno} - \text{Caudal mínimo nocturno conocido (lps)}}{\text{Caudal promedio diario}}$$

El valor el Factor de Investigación (FI), deberá compararse con los siguientes valores de referencia y de esta recomendar las acciones necesarias.

Tabla 2. Factor de investigación

VARAIBLE	VALOR	ACCIÓN
FI	FI < 0.3	No hay necesidad de buscar fugas
	0.3 < FI < 0.6	Se debe iniciar un programa de búsqueda de fugas
	FI > 0.6	Es prioritario iniciar un programa de búsqueda de fugas

Fuente: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial

4.1.3.2.3 Modelo hidráulico

Con la información correspondiente a la topografía, topografía de la red y los consumos de los usuarios, se procede a realizar el modelo hidráulico del subsistema de distribución mediante la herramienta computacional de WaterGEMS que simula el funcionamiento hidráulico de la red, con el fin de establecer el plano de presiones en el escenario actual, en función de las condiciones de operación y de esta manera recomendar las acciones inmediatas para su mejor funcionamiento.

En la simulación la red se considera la ecuación de Darcy – Weisbach, para la estimación de pérdidas por fricción, por tanto, es importante conocer el coeficiente de rugosidad del material de la tubería. De igual forma se considerará el diámetro interno de las tuberías para el proceso de simulación.

- Plano de presiones del escenario actual

El plano de presiones actual de la red de distribución, corresponde a la representación de las presiones de operación en las diferentes tuberías de la red,

buscando así analizar las presiones obtenidas en el modelo hidráulico con respecto a las presiones observadas en campo y a su vez con las presiones admisibles establecidas en el Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Res. 0330 de 2017).

- Presiones de servicio admisibles en la red de distribución

La presión dinámica mínima debe ser 10 m.c.a. en sistemas con poblaciones de diseño de hasta 12500 habitantes. Para poblaciones de diseño de más de 12500 habitantes la presión dinámica mínima debe ser 15 m.c.a.²³.

Para nuevos sistemas u optimizaciones, la presión estática máxima debe ser de 50 m.c.a. para cumplir con esta condición, la red de distribución debe estar subdividida en tantas zonas de presión como se requieran²⁴.

Con base en plano de presiones resultado del modelo hidráulico y el análisis de las presiones admisibles establecidas es posible responder el cuestionario, análisis de la red.

Tabla 3. Análisis de la red

Pregunta	Si	No
1.¿Existen zonas de baja presión en la red ?	X	
2.¿Existen zonas de alta presión en la red ?	X	
3.¿Se puede mejorar la distribución reparando o instalando algunas pocas válvulas	X	
4.¿Es necesario ejecutar o actualizar el catastro de redes?	X	
5. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de edad?		X
6. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de material?		X
7. ¿Existe el personal capacitado para operar la red y hacer el mantenimiento?	X	
8. ¿Está definido el presupuesto para optimizar la red de distribución ?		X

Fuente: Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial

4.1.4 DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL

El conocimiento completo y preciso de las condiciones en que se gerencia y administra la prestación del servicio de acueducto es un factor esencial. El diagnóstico empresarial o institucional de una entidad encargada de prestar el servicio de acueducto en una localidad es un trabajo que se puede adelantar siguiendo las pautas que se presentan a continuación.

²³ MVCT (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio), Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS), 2017, p 45.

²⁴ Ibid., p. 45.

4.1.4.1 Diagnóstico Institucional y Legal

La ley 142 de 1994, o ley de Servicios Públicos Domiciliarios, definió el marco legal que deben observar todas las entidades que prestan servicios públicos domiciliarios incluyendo el de acueducto. En desarrollo de este marco normativo, la comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) y, en algunos casos, el Ministerio de Desarrollo Económico, así como la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), han expedido una serie de decretos y resoluciones que reglamentan con mayor detalle la prestación de estos servicios a nivel nacional.

4.1.4.2 Aspectos Administrativos

Conocer los aspectos administrativos, permite saber si la empresa funciona con los principios básicos de operación como, tener estructura orgánica de la empresa definida, saber si cuentan con reglamento interno de trabajo.

Con el diagnóstico del aspecto administrativo se puede llegar a realizar un análisis crítico sobre excesos o carencias de personal de nómina o por contrato, grado de escolaridad y capacitación, estabilidad del personal, costos del personal respecto a los ingresos de la empresa entre otros.

4.1.4.3 Aspectos Financieros

El diagnóstico financiero de la entidad prestadora se orientará básicamente hacia los siguientes aspectos: análisis de la gestión financiera de la empresa, análisis de carteras por edades, diagnóstico de la gestión comercial diagnóstico conexiones y/o usuarios del servicio

4.1.4.4 Aspectos Comerciales

Al igual que en las anteriores áreas, el análisis de los aspectos comerciales se inicia con la evaluación de los procesos de gestión llevados a cabo como lo son, los consumos facturados incluyendo los valores de los volúmenes de consumo en usuarios sin medición.

Es por tanto que, referente al alcance del proyecto, el diagnóstico empresarial de la Empresa de Servicios Públicos se centrara en los aspectos comerciales, con el fin de determinar el número de usuarios en la red y sus respectivos consumos, de igual manera las tarifas establecidas para posteriormente determinar el valor económico de las pérdidas de agua en la red.

Por tal razón, se realiza el análisis de los consumos facturados mediante el formato, consumos facturados, determinando los siguientes parámetros.

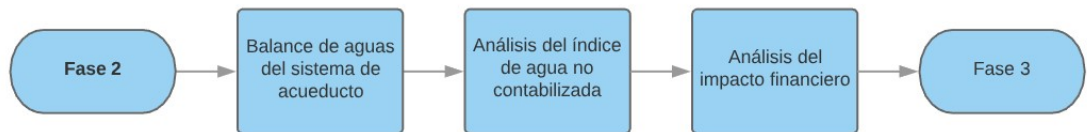
- CPM: Número de usuarios promedio en los últimos 6 meses.
- NUP: consumo promedio mensual m3/mes.
- CPMU: Consumo promedio mensual por usuario (m3/usuario-mes).

- CFUSM: Consumo facturado a usuarios sin medición.
- VFUSM: Volumen facturado a usuarios sin medición. Se calcula como el número de usuarios sin medición multiplicado por el consumo facturado a usuarios sin medición.
- CFUCMP: Consumo facturado a usuarios con medidor parado.
- VFUCMP: Volumen facturado a usuarios con medidor parado. Se calcula como el número de usuarios con medidor parado multiplicado por el consumo facturado a usuarios con medidor parado (CFUCMP).

4.2 FASE 2

Esta fase presenta el procedimiento, con el cual se dará solución al objetivo N° 2 y 3, planteado en el proyecto.

Figura 5. Fase 2



Fuente: El autor

4.2.1 BALANCE DE AGUAS

El balance de aguas es el método para calcular los volúmenes de pérdida de agua en los diferentes procesos que se realizan en un sistema de acueducto. Los resultados del balance de agua permiten conocer las condiciones técnicas de funcionamiento del acueducto; determinar los niveles o índices de pérdidas en los subsistemas que lo constituyen; formular y priorizar un programa de disminución y control de pérdidas, que redunde en el mejoramiento de la gestión técnica y empresarial de la entidad prestadora del servicio y el cumplimiento de la normatividad legal existente. Para establecer el balance de agua en un sistema de acueducto es necesario contar con información técnica y empresarial de la entidad prestadora del servicio y el cumplimiento de la normativa legal existente.

El formato BA-01 de la metodología de cálculo del IANC del MAVDT, presenta de manera ordenada la información general, comercial y técnica requerida para determinar el balance de aguas del sistema de acueducto. Ver anexo 1.

4.2.2 ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA

Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (Res. 0330/2017), en Colombia las pérdidas admisibles en acueductos son del 25%²⁵, dejando claro que, en todo municipio se debe priorizar el programa de reducción de pérdidas, a la ampliación o expansión de cualquier componente del sistema de abastecimiento, cuando el IANC sea superior a dichos límites.

La entidad prestadora debe establecer control de medición de este tipo de programas, que deben formar parte permanente de las actividades de operación y mantenimiento de la infraestructura, en lo que respecta a las pérdidas físicas. La reducción del nivel de pérdidas en un sistema, redundante en la optimización y buen comportamiento de toda la infraestructura. Si bien, la meta de toda empresa debe ser reducir al máximo este índice, valores por debajo del 15% suelen resultar en deseconomías, es decir, grandes inversiones para reducir un solo punto de las pérdidas, por tal motivo es importante definir el programa de reducción de pérdidas como un proyecto de mínima inversión que optimice y recupere el recurso.

4.2.3 ANÁLISIS DEL IMPACTO FINANCIERO

Cada metro cúbico tiene inmersos tres tipos de costos, a). Costos de inversión en infraestructura, b). Costos de operación y mantenimiento y c). Costos de administración y comercialización, por tanto, cada metro cúbico de agua que se pierde en la red de distribución acarrea con los costos antes mencionados.

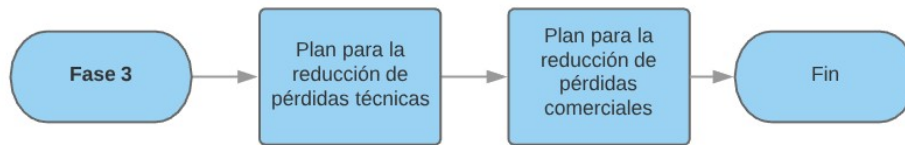
Para la determinación del impacto financiero, se distribuirá el volumen de agua que se pierde en la red de distribución, respecto al número de usuarios y el costo de la tarifa del respectivo estrato, para de esta manera proceder a establecer un valor económico de pérdidas de agua. Las tarifas con las que se trabajará corresponden a las establecidas por la empresa de servicios públicos del municipio.

4.3 FASE 3

Un programa de control de pérdidas es un conjunto armónico de actividades realizadas por una empresa, destinadas a alcanzar y mantener un nivel en el que los componentes y las causas de las pérdidas sean los mínimos posibles dentro de las condiciones de viabilidad ambiental, financiera y social.

²⁵ MVCT. Op. Cit., p. 55.

Figura 6. Fase 3



Fuente: El autor

4.3.1 PLAN DE MANEJO PARA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS TÉCNICAS.

El enfoque de este plan de manejo está ligado a acciones que se pueden denominar plan de choque, es decir que deben ser emitidas de inmediato dentro de un concepto de mínima inversión y no resulten en grandes inversiones para reducir un solo un punto de las pérdidas.

4.3.2 PLAN DE MANEJO PARA REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS COMERCIALES.

El diagnóstico empresarial, brinda la información necesaria para emitir el plan de manejo de pérdidas comerciales prioritarias para la empresa, partiendo del análisis institucional, administrativo y financiero.

5 RESULTADOS

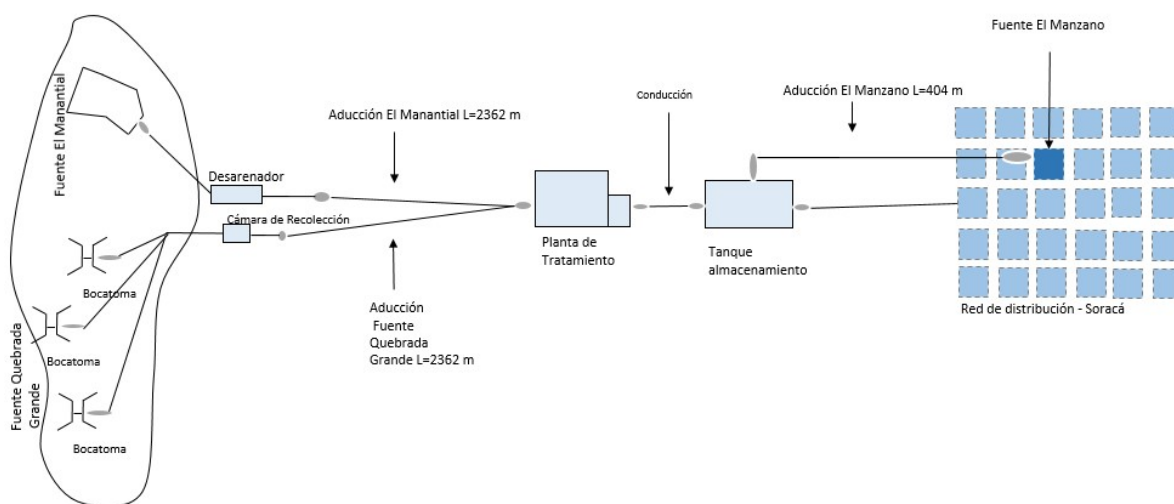
5.1 DIAGNOSTICO TÉCNICO MUNICIPIO DE SORACÁ

El municipio de Soracá está ubicado en la provincia Centro, del Departamento de Boyacá, se encuentra en las estribaciones de la meseta cundiboyacense a una distancia de 7 kilómetros de la ciudad de Tunja, capital del departamento. La población urbana del municipio es de 751 habitantes siendo catalogado como un municipio de Sexta categoría según la ley 136 de 1994 y como municipio menor según el decreto 421 de 2.000.

5.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

El sistema de acueducto del municipio de Soracá se compone de tres sistemas de captación, tres líneas de aducción, una planta de tratamiento, un tanque de almacenamiento y una red de distribución.

Figura 7. Esquema general del sistema de acueducto de Soracá



Fuente: El autor

5.1.1.1 Fuente de abastecimiento nacimiento El Manantial

5.1.1.1.1 Bocatoma

Actualmente el municipio de Soracá, se abastece de un nacimiento llamado El Manantial y cuyo caudal es derivado mediante una bocatoma lateral. Este sistema se encuentra ubicado a una altura de 2875 msnm, en la vereda el Salitre.

La bocatoma está constituida por una estructura que permite el almacenamiento del agua, una rejilla y una cámara de derivación.

A continuación, se describen los elementos o unidades que componen la bocatoma:

- Estructura de almacenamiento: Está conformada por muros perimetrales en concreto, que almacenan el agua proveniente de la escorrentía, (Ver Fotografía 1).
- Unidad de captación de flujo: La captación es lateral mediante una rejilla en hierro, que conduce el agua directamente a la cámara de derivación.
- Cámara de derivación: La cámara de derivación corresponde a una estructura de 1.20 m de profundidad, 1.10 m de ancho y 1 m de largo, esta posee un vertedero de excesos de una longitud de 0.7 m, ubicado a 0.95 m desde el fondo de la cámara.

La bocatoma lateral del manantial, no cuenta con una estructura definida para realizar un aforo volumétrico que permita calcular el caudal captado.

5.1.1.1.2 Desarenador

El desarenador se encuentra ubicado a una altura de 2875 msnm, en la vereda el Salitre, aproximadamente a 1 m de la bocatoma, esta estructura está conformada por una serie de cámaras, conectadas entre sí mediante tubos. Actualmente el desarenador no se encuentra funcionando, debido a que la Empresa de Servicios Públicos lo deshabilitó por el estado de deterioro en el que se encuentra. Debido a lo anterior el bypass del desarenador forma parte de la línea de aducción.



Fuente: El autor

5.1.1.1.3 Línea de aducción

Se ubica en la vereda el Salitre, entre las abscisas K0+000 m y K2+ 362 m. Esta línea se encuentra en material PVC, posee un diámetro de 3 y 4 pulgadas y una longitud total de 2362 m.

5.1.1.2 Fuente de abastecimiento Quebrada Grande

5.1.1.2.1 Bocatoma

Actualmente el proceso de captación en la fuente Quebrada Grande, cuenta con tres bocatomas y una cámara de recolección que se encuentra a 50 metros de las bocatomas.

De las bocatomas sale una tubería de 3 pulgadas que conduce el caudal captado por la bocatoma hasta la cámara de recolección. Las bocatomas no cuentan con una estructura definida para realizar un aforo volumétrico que permita conocer el caudal captado, sin embargo, la cámara de recolección si permite realizar un aforo volumétrico con el fin de conocer el caudal captado.

La cámara de recolección corresponde a una estructura de concreto, de 1.70 m de profundidad, 1.8 m de ancho y 1.8 m de largo, en donde llega una tubería de 3 pulgadas de diámetro por cada bocatoma. (Ver Fotografía 4).

Fotografía 3. Bocatoma Lateral 2



Fotografía 4. Cámara de recolección



Fuente: El autor

5.1.1.2.2 Línea de aducción

Se ubica en la vereda el Salitre, entre las abscisas K0+000 m y K2+ 362 m. Esta línea se encuentra construida en material PVC, posee un diámetro de 3 pulgadas y transporta el caudal captado desde la fuente “Quebrada Grande” hasta la planta de tratamiento.

5.1.1.3 Fuente de abastecimiento nacimiento “El Manzano”

El sistema de abastecimiento El Manzano, está compuesto por el sistema de captación, un tanque de almacenamiento, un sistema de bombeo y una línea de aducción hasta el tanque de almacenamiento ubicado en la planta de tratamiento.

5.1.1.3.1 Captación nacimiento El Manzano

Corresponde a un nacimiento subterráneo de agua ubicado en el casco urbano del municipio a una altura de 2835 msnm, donde el fluido es captado mediante una tubería que lo conduce a un tanque de almacenamiento ubicado a tres metros del nacimiento.

5.1.1.3.2 Tanque de almacenamiento El Manzano

Corresponde a una estructura de 2.30 metros de ancho por 2.20 metros de largo, con una profundidad de 1.80 metros, que cuenta con recubrimiento en baldosa. En la parte superior del tanque de almacenamiento se encuentra una caseta en donde opera la bomba.

El volumen de almacenamiento del tanque se alcanza con una altura de la lámina de 1.70 m, el volumen total es impulsado mediante una bomba hidráulica diariamente durante una hora. No existe macromedición que permita conocer con exactitud el valor de caudal captado en el nacimiento El Manzano.

5.1.1.3.3 Línea de aducción

El Caudal impulsado se conduce mediante tubería de 2 pulgadas en PVC, con una longitud de 404 metros, directamente hacia el tanque de distribución ubicado en la planta de almacenamiento.



Fuente: El autor

5.1.1.4 Planta de tratamiento de agua potable

La planta de tratamiento del sistema de acueducto urbano del Municipio de Soracá se encuentra ubicada a una elevación de 2877 msnm, en la parte alta a las afueras del municipio; esta planta de tratamiento es de tipo FIME (Filtración en múltiples Etapas).

La planta de tratamiento de agua potable se compone en general por una caja de macromedidores de entrada, cámara de entrada, dos filtros dinámicos, dos filtros ascendentes, dos filtros lentos y una cámara de desagüe.

5.1.1.4.1 Caja de macromedidores de entrada

La caja de macromedidores contiene el macromedidor de tres (3) pulgadas de la línea de aducción de la fuente nacimiento El Manantial y el macromedidor de tres (3) pulgadas de la línea de aducción de la fuente Quebrada Grande. Actualmente los dos macromedidores, se encuentran fuera de servicio debido a un daño generado en los filtros y en el mecanismo de lectura del macromedidor.

Fotografía 7. Macromedidor 1



Fotografía 8. Macromedidor 2



Fuente: El autor

5.1.1.4.2 Cámara de entrada

La cámara de entrada es una estructura de 0.74 m de ancho x 0.79 de largo, con una altura de 0.71 m, de esta se desprenden 2 canales contruidos en concreto de 1.40 m de largo x 0.28 de ancho y 0.46m de alto regulados por dos válvulas de lenteja en HF, en el extremo de cada canal se encuentra un vertedero triangular en fibra de vidrio con altura de 0,50 m, el cual es utilizado para la medición de caudal, los vertederos se encuentran en óptimas condiciones, no se observan fugas o fisuras apreciables en las estructuras.

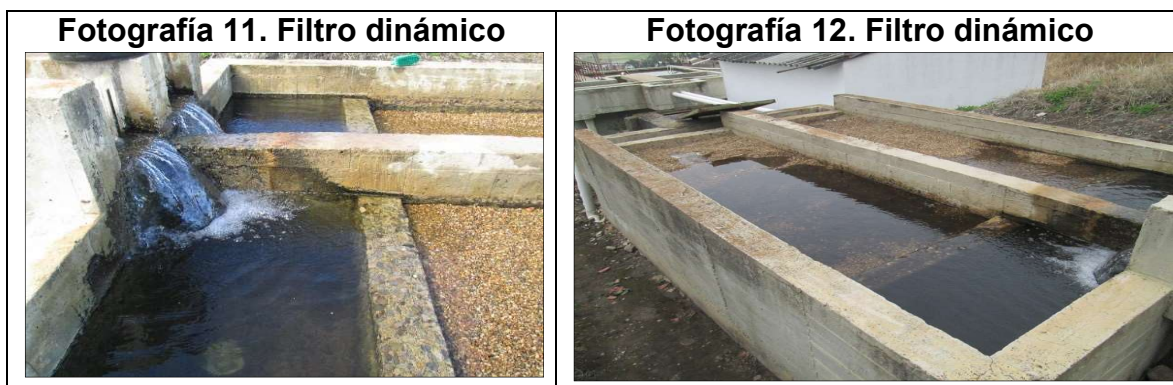


Fuente: El autor

5.1.1.4.3 Filtros dinámicos

El filtro dinámico se encuentra construido en concreto reforzado, tiene una longitud de 2.80m de largo x 2.55m de ancho y una altura de 0.92 m, en el interior tiene dos compartimientos de 2.20m de largo x 1.05m de ancho y 0.60m de alto cada uno, los cuales se encuentran con una grava de aproximadamente 0.20m de espesor, estos compartimientos se encuentran divididos por un muro longitudinal de 2.80m de largo x 0.15m de ancho y 0.60m de alto.

El mantenimiento al filtro dinámico corresponde al lavado del lecho filtrante por un tiempo de 20 minutos diarios, en donde se utiliza el caudal de entrada a la planta de tratamiento.

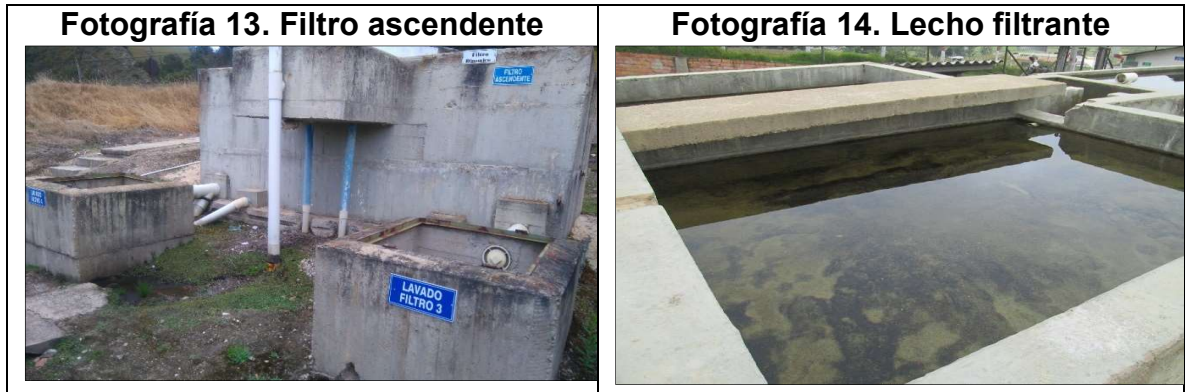


Fuente: El autor

5.1.1.4.4 Filtro ascendente

Los filtros ascendentes tienen una medida de 2,67m de largo x 4.64m de ancho y 1.69m de alto por el exterior y por el interior esta estructura tiene dos compartimientos de 2.55m de largo x 2.03m de ancho y 1.55m de alto cada uno, los cuales se encuentra con una capa de grava con aproximadamente 1.20m de espesor, cuenta con dos cámaras de lavado, cada una de ellas cuenta con su válvula correspondiente.

El mantenimiento al filtro ascendente corresponde al lavado del lecho filtrante por un tiempo de 30 minutos con frecuencia de 15 días, en donde se utiliza el caudal de entrada a la planta de tratamiento.

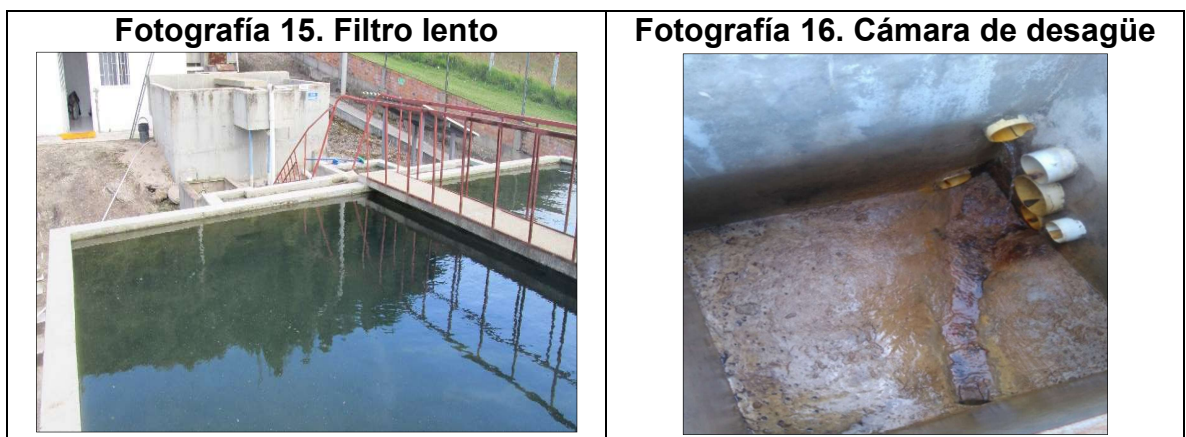


Fuente: El autor

El filtro ascendente presenta dos fugas de agua, la primera corresponde a una infiltración en los tapones de la tubería que conduce al desagüe, adicionalmente se presenta una rotura en la tubería de desagüe. La segunda fuga se presenta en la parte inferior de la tubería que conduce el agua desde el filtro ascendente hasta el filtro lento.

5.1.1.4.5 Filtro lento

El filtro lento tiene una medida de 6,51m de ancho x 9.95m de largo x 2,8m de alto por el exterior y por el interior esta estructura tiene dos compartimientos cada uno en los cuales se encuentra una capa de grava y arena fina con aproximadamente 1.14m de espesor cada uno. Este presenta una fuga en la tubería que conduce el agua desde el filtro lento hasta el tanque de almacenamiento.



Fuente: El autor

5.1.1.4.6 Cámara de desagüe

La cámara de desagüe se ubica a aproximadamente 1 metro del filtro lento, esta corresponde a una estructura de 1 m x 1m y 0.9 m de profundidad, cumple principalmente la función de recolectar el caudal de desagüe, fuga y rebose presentado en las estructuras antes mencionadas. Durante el periodo de análisis fue medido el caudal de fuga constante en el sistema.

5.1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.1.2.1 Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento se encuentra ubicado en el predio de la planta de tratamiento de agua potable, y corresponde a una estructura semienterrada con una capacidad de 96,35 m³.

A continuación, se presenta las características físicas del tanque de almacenamiento.

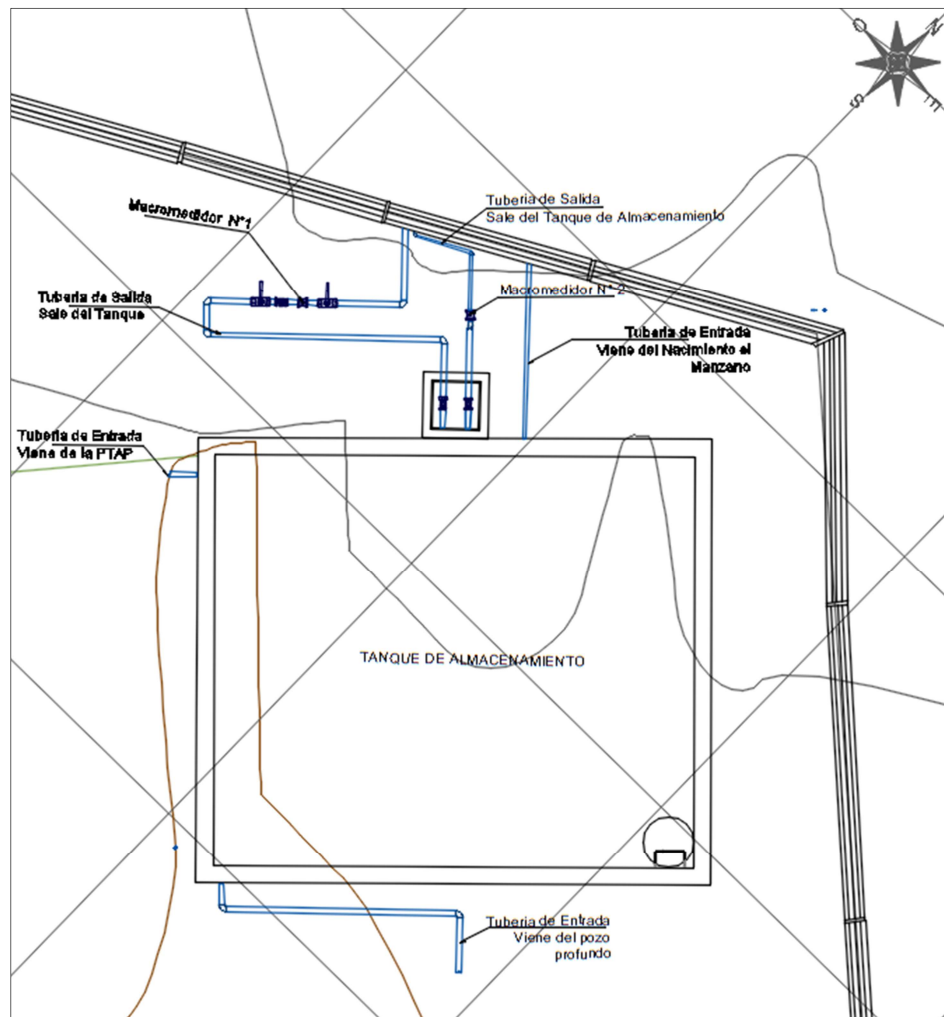
Tabla 4. Características físicas del tanque de almacenamiento

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ	
FORMATO DT-09	DIAGNOSTICO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO
Nombre / Ubicación	Tanque uno (1)
Nombre del tanque	Tanque de Almacenamiento
Localización	planta de tratamiento de agua potable
Tipo	Semienterrado en concreto reforzado
Dimensiones	Rectangular
Alto (m)	2,65
Ancho (m)	5,95
Largo(m)	6,98
Capacidad(m ³)	96,35
Nivel máximo	2,32
Nivel mínimo	0
Numero de fisuras	1
Numero de fugas	0
Barrios o zonas que abastece	Todo el sector urbano del Municipio de Soracá

Fuente: El autor

El tanque de almacenamiento posee dos tuberías para el ingreso del caudal captado en los diferentes sistemas. La primera entrada corresponde al caudal tratado en la planta de tratamiento, esta se localiza en el lado sur del tanque y la segunda entrada corresponde al caudal del nacimiento El Manzano que ingresa por el lado oeste del tanque.

Figura 8. Plano tanque de almacenamiento del sistema



Fuente: El autor

Fotografía 17. Tanque de Almacenamiento



Fotografía 18. Tubería de entrada el manzano



Fuente: El autor

El tanque de almacenamiento cuenta en la parte inferior con dos tuberías de salida de 3 pulgadas hacia la red de distribución. La tubería uno cuenta con una válvula tipo cortina en HF sin vástago ascendente y sin rueda de manejo y un macromedidor en 3 pulgadas, la tubería dos, cuenta con una válvula tipo cortina en HF sin vástago ascendente y sin rueda de manejo y un macromedidor Elster en 3 pulgadas.

Fotografía 19. Macromedidor 1



Fotografía 20. Macromedidor 2



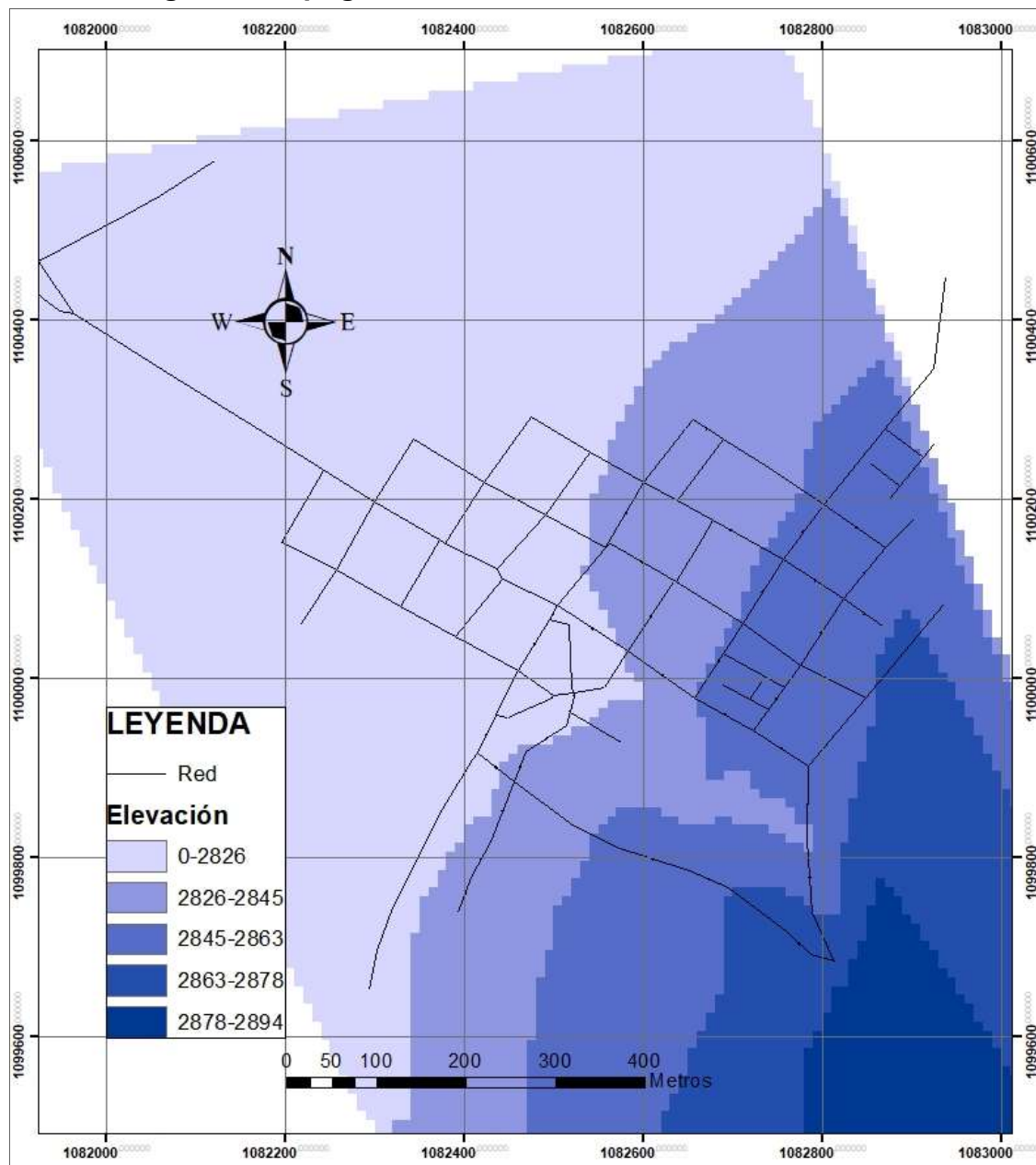
Fuente: El autor

5.1.2.2 Red de distribución del sistema de acueducto

5.1.2.2.1 Topografía de la red

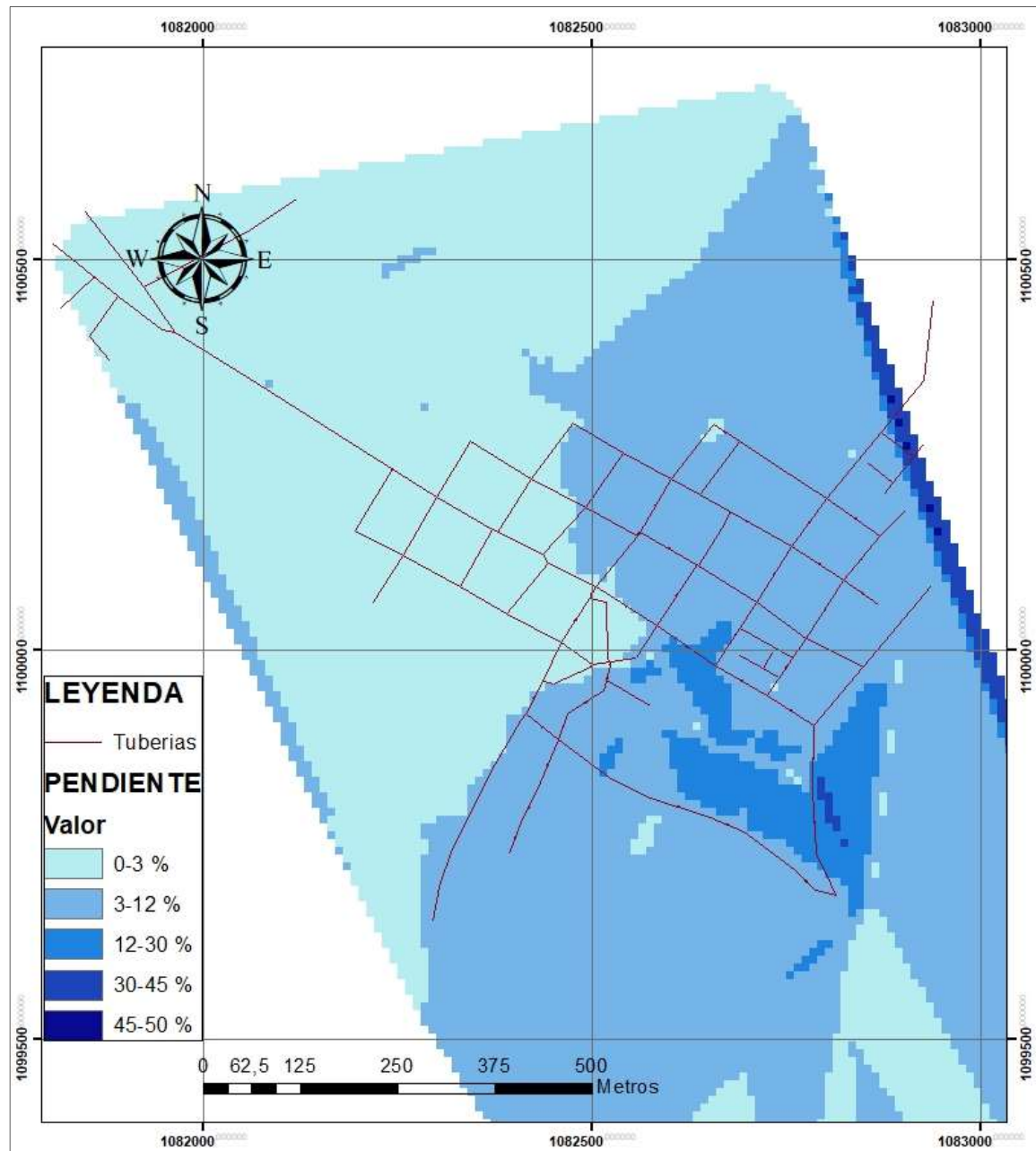
El plano de elevación y pendientes del casco urbano del municipio, permite visibilizar las diferentes regiones del municipio con pendientes similares, gran parte del municipio posee una pendiente entre el 0 y el 12%, sin embargo, la mayor concentración de viviendas o de usuarios, se presenta en la zona de pendiente comprendida entre 0 y 3 %.

Figura 9. Topografía de la red de distribución de Soracá



Fuente: el autor

Figura 10. Mapa de pendientes de la red de distribución



Fuente: El autor

La salida del tanque de almacenamiento se encuentra en la cota 2872 msnm, la cota del nodo en la red con menor elevación corresponde a 2816, por tanto, la presión estática en el punto crítico de la red corresponderá a aproximadamente 56 mca.

5.1.2.2.2 Topología de la red

La red de distribución cuenta con una tubería principal en tres (3) pulgadas y dos (2) pulgadas, la red secundaria se encuentra en tres (3) pulgadas, dos (2) pulgadas y 1 ½ pulgadas.

En el Anexo 2, se presenta el plano de la red de distribución de agua potable.

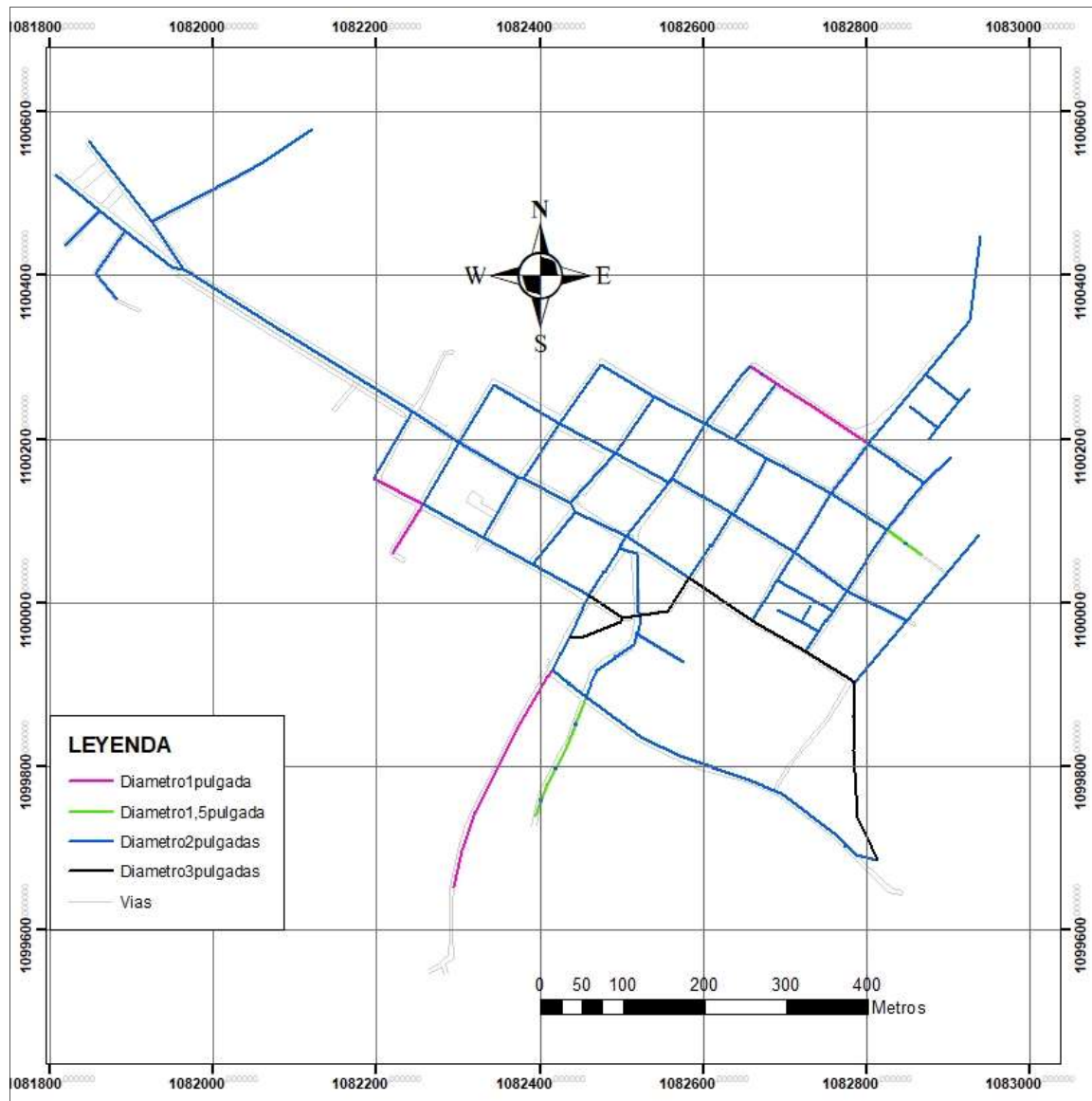
Tabla 5. Diagnóstico rápido de la red.

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ								
FORMATO DT-11			DIAGNÓSTICO DE LA RED					
Red	Diámetro	Material	Longitud (m)	N°	válvulas		Hidrantes	
					Tipo	Estado	N°	Estado
Principal	3"	PVC	354,66	7	Compuerta	2 Regular		
	2 "	PVC	388			2 Mal		
						3 Desconocido		
Secundaria	3"	PVC	247	13	Compuerta	13 Desconocido	1	B
	2"	PVC	4105,7					
	1 1/2"	PVC	672,72					
Totales			5768,08	20			1	

Fuente: El autor

Actualmente el sistema de distribución cuenta con 20 válvulas, estas se encuentran abiertas y permiten mediante el cerrado de unas pocas el racionamiento del suministro de agua a la población.

Figura 11. Topología de la red



Fuente: El autor

5.1.3 DIAGNÓSTICO DE PERDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los resultados del diagnóstico de las estructuras que comprenden el subsistema de producción, estableciendo la cuantía de pérdidas de agua.

5.1.3.1 Fuente de abastecimiento nacimiento El Manantial

5.1.3.1.1 Bocatoma

Tabla 6. Diagnóstico en la captación

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ					
FORMATO DT-03		DIAGNOSTICO DE LA CAPTACION			
Nombre / ubicación	Tipo de captación	Caudal de operación (L/s)	Caudal de operación (m3/mes)	Estado y funcionamiento	Mantenimiento
Nacimiento El Manantial	Bocatoma Lateral	2,36	6118,8	Bueno	Semanal

Fuente: El autor

La estructura en términos generales, se encuentra en buen estado, no se encuentran fugas considerables.

5.1.3.1.2 Línea de aducción

Tabla 7. Diagnóstico de la aducción

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ						
FORMATO DT-05			DIAGNÓSTICO DE ADUCCIÓN			
Tramo	Tipo de material	Sección/ diámetro	Longitud (m)	Caudal de operación (L/s)	Accesorios	Observaciones
Aducción (Tramo Nacimiento El Manantial)	PVC	4" y 3"	2362	2,36	3 Ventosas en el tramo de 4 " 2 Ventosas en el tramo de 3 "	La tubería se encuentra en su mayoría enterrada

Fuente: El autor

5.1.3.2 Fuente de abastecimiento Quebrada Grande

5.1.3.2.1 Bocatoma

Tabla 8. Diagnóstico captación

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ						
FORMATO DT-03		DIAGNOSTICO DE LA CAPTACION				
Nombre / ubicación	Tipo de captación	Caudal de operación (L/s)	Caudal de operación (L/s)	Capacidad (M3/mes)	Estado y funcionamiento	Mantenimiento
Nacimiento Quebrada Grande	Bocatoma 1 lateral	0	2,36	6118,8	Bueno / No funciona	Semanal
	Bocatoma 2 lateral	2,21			Bueno / Funciona	Semanal
	Bocatoma 3 lateral	0,14			Bueno / Funciona	Semanal

Fuente: El autor

5.1.3.2.2 Línea de aducción

Tabla 9. Diagnóstico línea de aducción

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ						
FORMATO DT-05			DIAGNÓSTICO DE ADUCCIÓN			
Tramo	Tipo de material	Sección/diámetro	Longitud (m)	Caudal de operación (L/s)	Accesorios	Observaciones
Aducción (Tramo Nacimiento Quebrada Grande)	PVC	3"	2362	2,36	2 Ventosas	La tubería se encuentra en su mayoría enterrada

Fuente: El autor

5.1.3.3 Fuente de abastecimiento nacimiento “El Manzano”

5.1.3.3.1 Captación “El Manzano”

Tabla 10. Diagnóstico captación

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ						
FORMATO DT-03		DIAGNOSTICO DE LA CAPTACION				
Nombre / ubicación	Tipo de captación	Caudal de operación (L/s)	Caudal de operación (L/s)	Capacidad (M3/mes)	Estado y funcionamiento	Mantenimiento
Nacimiento el Manzano	Nacimiento	0,04	0,04	258	Regular	No Aplica

Fuente: El autor

5.1.3.3.2 Línea de aducción

Tabla 11. Diagnóstico línea de aducción.

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ						
FORMATO DT-05			DIAGNÓSTICO DE ADUCCIÓN			
Tramo	Tipo de material	Sección/diámetro	Longitud (m)	Caudal de operación (L/s)	Accesorios	Observaciones
Aducción (Tramo Nacimiento El Manzano)	PVC	"2	404	0,04	Bomba hidráulica	La tubería se encuentra en su mayoría enterrada

Fuente: El autor

5.1.3.4 Planta de tratamiento de agua potable.

Tabla 12. Diagnóstico global de la planta de tratamiento

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ			
FORMATO DT-06		DIAGNOSTICO GLOBAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	
Nombre/ubicación	Proceso de tratamiento	Estado de la estructura	Operación y mantenimiento
Planta FIME (filtración en múltiples etapas)	Filtro Dinámico	Bueno	Aceptable, mantenimiento diario
	Filtro Ascendente	Bueno	Aceptable, Mantenimiento cada 15 días
	Filtro Lento	Bueno	Aceptable, Mantenimiento cada 6 meses
	Desinfección	Bueno	Aceptable

Fuente: El autor

5.1.3.4.1 Caudal de operación de la planta de tratamiento de agua potable

Tabla 13. Diagnóstico de capacidad de la planta

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ				
FORMATO DT-07		DIAGNOSTICO DE CAPACIDAD DE LA PLANTA		
PLANTA DE TRATAMIENTO MUNICIPIO DE SORACÁ	Caudal		Pérdidas por estanqueidad (m3/mes)	Consumo interno de la planta (m3/mes)
	De entrada	De salida		
(Litros/seg)	3,93	3,84	944,932	155,628
(m3/mes)	10186,56	9014		

Fuente: El autor

5.1.4 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.1.4.1 Diagnóstico de pérdidas en el tanque de almacenamiento

Tabla 14. Diagnóstico de caudales y estanquidad en el tanque

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ						
FORMATO DT-10		DIAGNOSTICO DE CAUDALES Y ESTANQUEIDAD EN EL TANQUE				
Tanque N°	Caudal		Pérdidas por estanquidad (m3/mes)	Caudal promedio diario (Qpd)	Caudal mínimo nocturno (Qmn)	Caudal mínimo nocturno conocido
	De entrada	De salida				
1	3,623 lps	3,508 lps	299	3.84 lps	2.31 lps	0 lps
	9392 m3/mes	9093 m3/mes				
TOTAL	9392	9093	299	3.84 lps	2.31 lps	0 lps

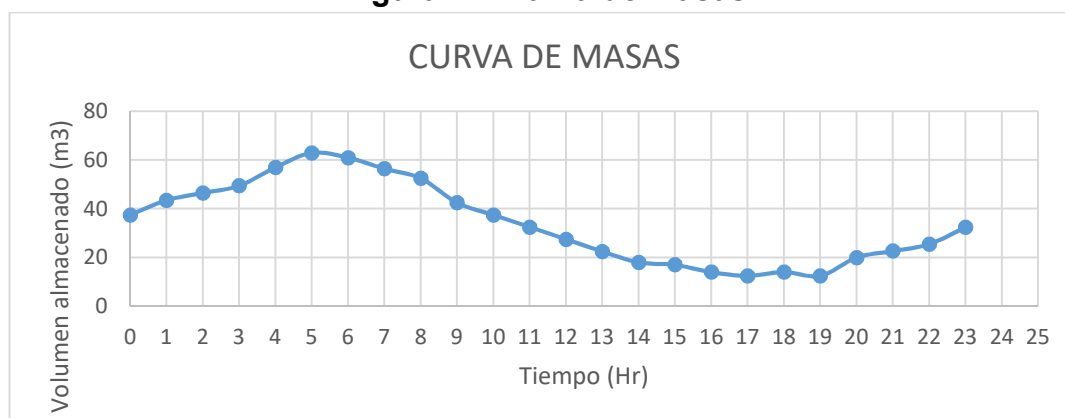
Fuente: El autor

5.1.4.1.1 Curva de masas en el tanque de almacenamiento

El nivel mínimo de la lámina de agua corresponde a 12.5 m³ a las 07:00 pm; El tanque de almacenamiento inicia un proceso de compensación aproximadamente a las 11:00 pm, de manera que logra su máximo nivel a las 05:00 am, para luego iniciar un proceso de abastecimiento a la red de distribución.

Debido a que el tanque de almacenamiento no permite generar las presiones suficientes y presenta un volumen bajo en horas de consumos altos, se ha racionalizado el suministro de agua en algunos sectores del casco urbano así; desde las 08:00 am hasta las 05:00 pm se abastece el centro del casco urbano y desde las 05:00 pm hasta las 08:00 se abastece los sectores altos.

Figura 12. Curva de masas



Fuente: El autor

Se observa que los niveles más bajos de la lámina de agua en el tanque de almacenamiento se presentan desde las 10:00 am hasta las 11:00 am, siendo estas las horas de máximo consumo.

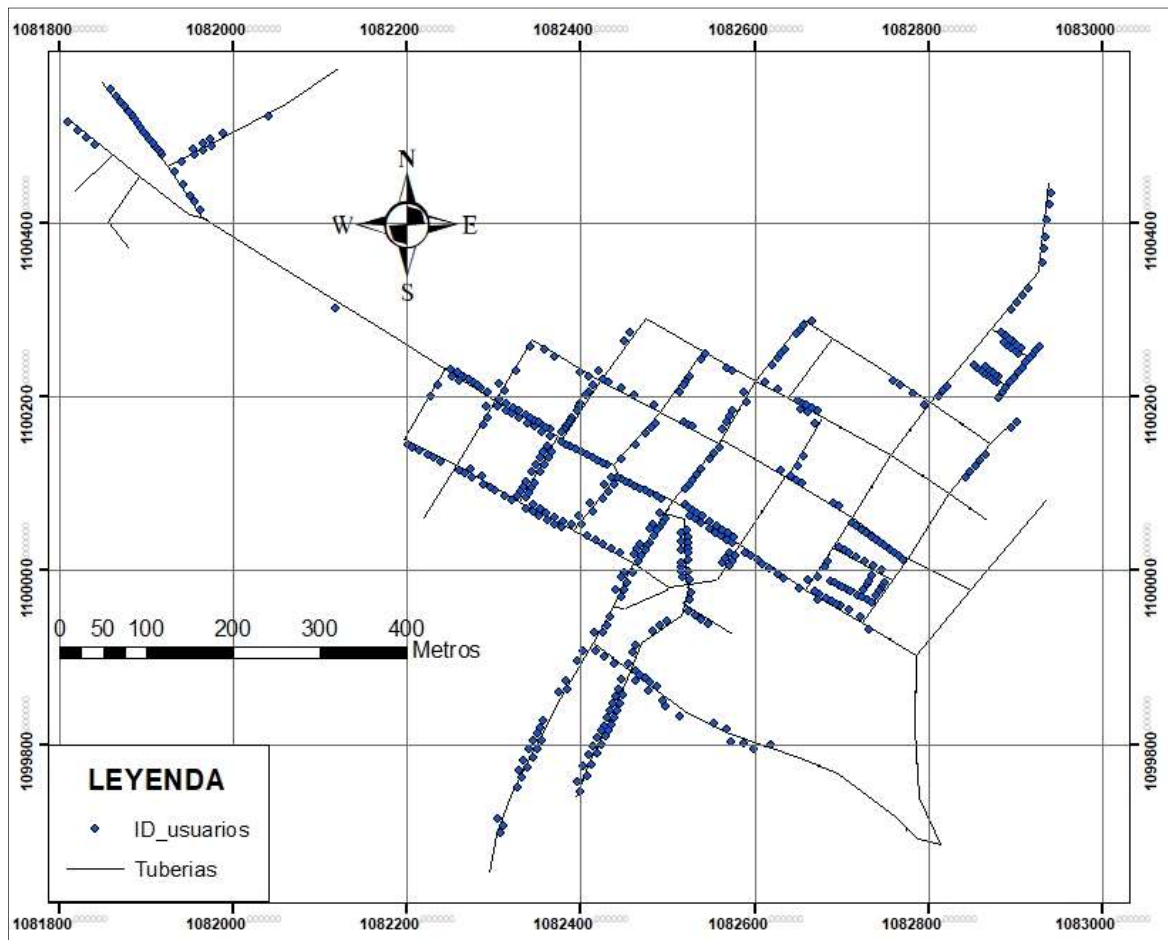
5.1.4.2 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

5.1.4.2.1 Cálculo y asignación de la demanda

El caudal medio diario en la red de distribución del municipio, se calculó en 3,1 l/s.

- **Distribución espacial de la demanda**

Figura 13. Mapa de usuarios

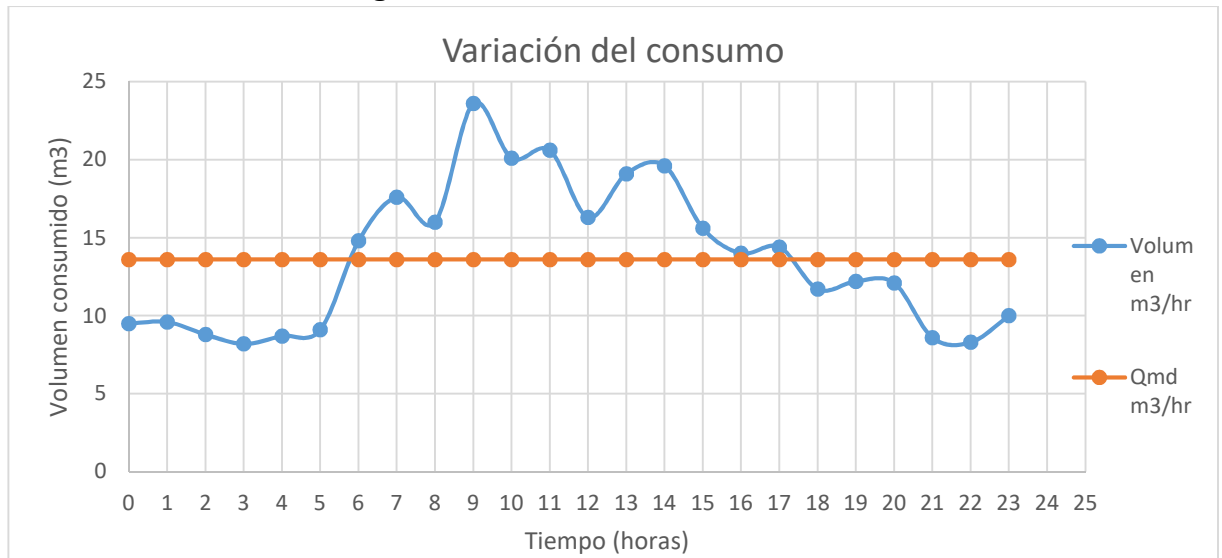


Fuente: El autor

- **Variación de la demanda**

A continuación, se presentan los factores horarios de la variación del consumo, con el fin de realizar el modelo hidráulico en el análisis de periodo extendido.

Figura 13. Variación del consumo



Fuente: El autor

5.1.4.2.2 Ensayo de Pitometría

- **Continuidad del sistema**

La operación y continuidad de la red de distribución en el municipio de Soracá, se realiza para dos sectores de la red, el primer sector corresponde a la parte baja de la red y tiene un suministro desde las 08:00 am hasta las 05:00 pm, correspondiente a 9 horas de suministro, y el sector alto, tiene suministro desde las 05:00pm hasta las 08:00 am, correspondiente a 15 horas.

El ensayo de pitometría en la red de distribución se realizó en la zona baja de la red, por tanto, este se realizó en un periodo de 8 horas.

Análisis de resultados en el tanque de almacenamiento

Tabla 15. Comportamiento del agua en el tanque de almacenamiento

Hora	H Lámina de agua (m)	Volumen (m3)	DT (seg)	Hora de Aforo	Caudal Macromedidor 1 (l/s)	Caudal Macromedidor 2 (l/s)
1	0,3	12,5		9 27 am		
2	0,144	6	2880	10 15 am	2,431	2,535
3	0,096	4	3180	11 08 am	2,358	2,138
4	0,1512	6,3	4200	12 18 am	1,452	1,238
5	0,168	7	3360	01 14 pm	1,815	0,893
6	0,192	8	3300	02 09 pm	2,091	0,848
7	0,168	7	4260	03 20 pm	2,394	0,869
8	0,156	6,5	3180	04 13 pm	2,421	0,786

Fuente: El autor

- **Puntos monitoreados**

A continuación, se presenta la tabla resumen de los puntos establecidos para el monitoreo del ensayo de pitometría.

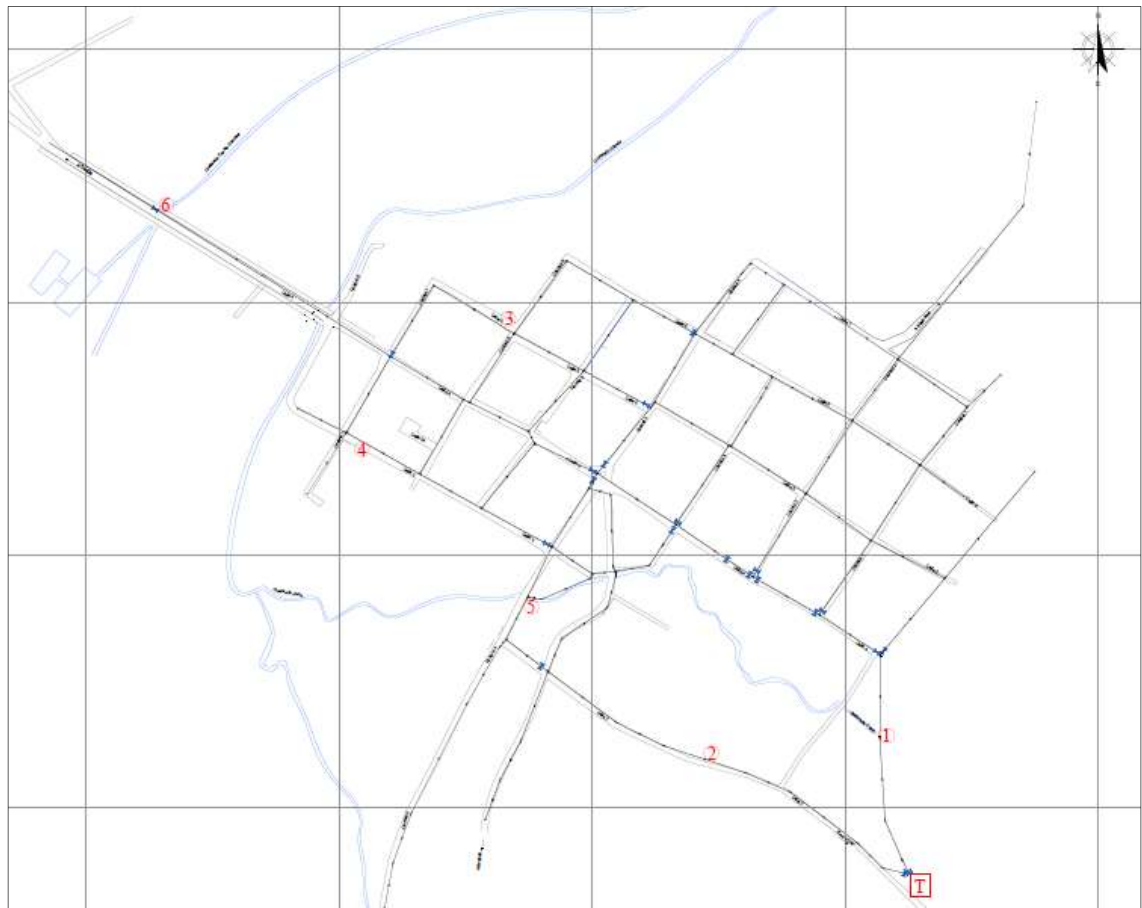
Tabla 16. Puntos Monitoreados

No	Punto de monitoreo	Dirección	Red a la que pertenece	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
1	Punto de conducción	Macromedidor 1	Principal	5°29'53.68"N	73°19'49.06"O
2	Punto de conducción	Macromedidor 2	Principal	5°29'53.25"N	73°19'54.50"O
3	Punto calidad del agua	Alcaldía	Secundaria	5°30'7.30"N	73°20'1.49"O
4	Punto calidad del agua	Polideportivo	Secundaria	5°30'4.40"N	73°20'8.06"O
5	Punto centro casco urbano	Sector centro	Secundaria	5°29'58.65"N	73°20'0.95"
6	Punto extremo	Sector la Y	Secundaria	5°30'11.19"N	73°20'12.65"O

Fuente: El autor

- **Localización de los puntos de monitoreo**

Figura 15. Localización de puntos de monitoreo

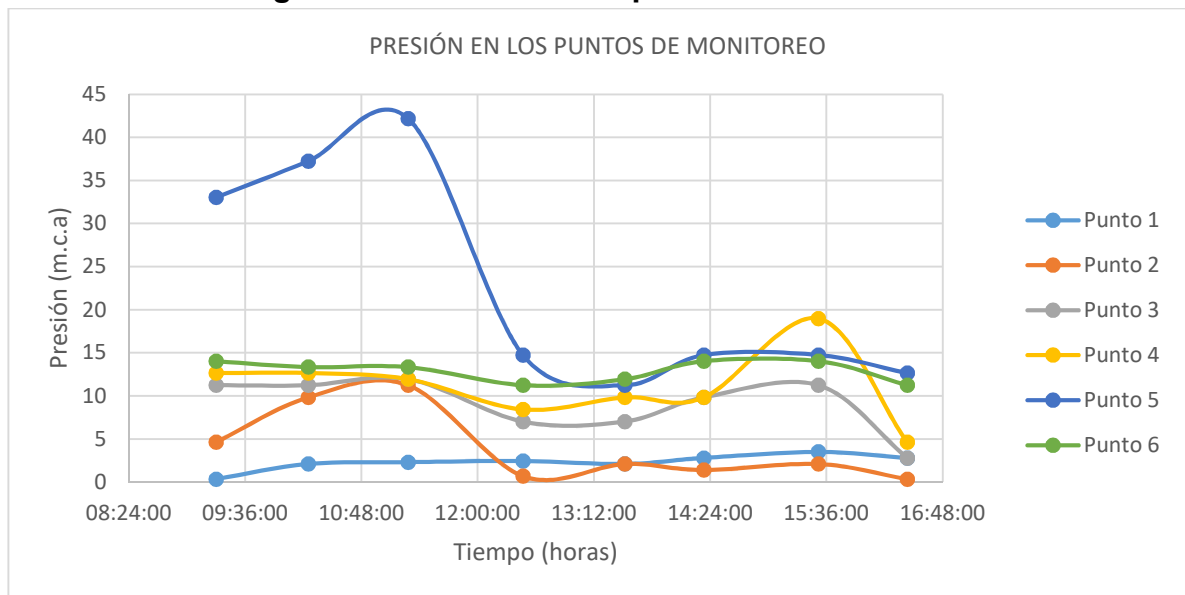


Fuente: El autor

- **Análisis de los puntos de monitoreo**

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de pitometría en los diferentes puntos de monitoreo, registrando los valores de presión a lo largo de la operación del sistema de acueducto.

Figura 16. Presión en los puntos de monitoreo



Fuente: El autor

Punto de mayor presión

En el punto 5 el manómetro instalado en la tubería de 2 pulgadas ubicada en el sector centro, registró una presión de 42 mca, correspondiente a la mayor presión promedio.

Punto de menor presión

En el punto No 3 el manómetro instalado en la tubería de la caja de calidad del agua, junto a las instalaciones de la alcaldía, registró una presión de 7,3 mca, correspondiente a la menor presión promedio.

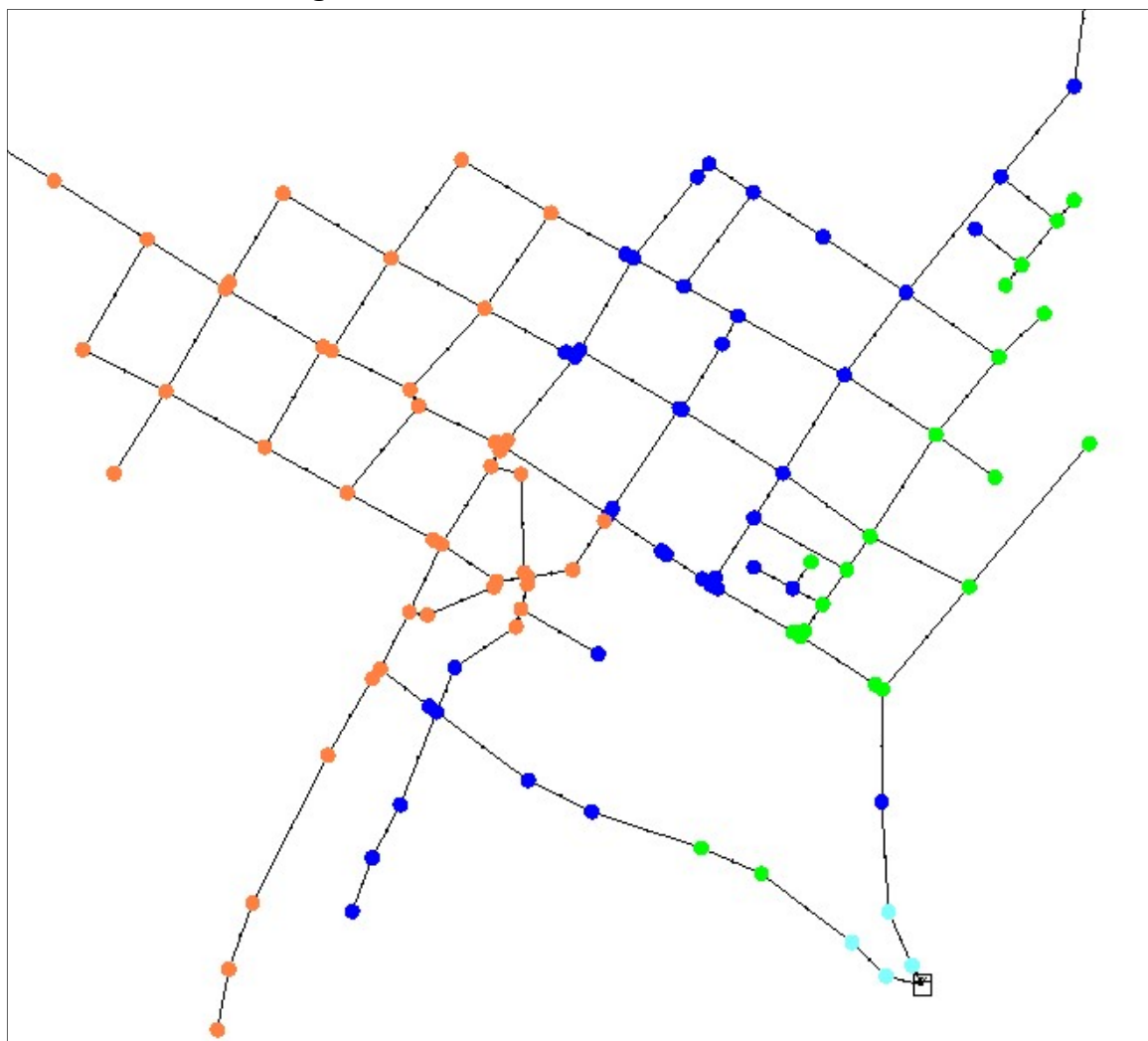
- **Factor de investigación.**

Se determinó un factor de investigación de 0,07, el cual indica que no existe necesidad en buscar fugas.

5.1.4.2.3 Modelo hidráulico de la red de distribución

Se presenta a continuación los resultados de la simulación de la red en el software WaterGEMS, en donde se determinó el plano actual de presiones en la red de distribución para el escenario actual de operación del sistema.

Figura 17. Modelo hidráulico de Soracá.



Fuente: El autor

El reporte de la simulación de la red de distribución se presenta en el Anexo 3.

Tabla 17. Análisis de la red.

Pregunta	Si	No
1.¿Existen zonas de baja presión en la red ?	X	
2.¿existen zonas de alta presión en la red ?	X	
3.¿Se puede mejorar la distribución reparando o instalando algunas pocas válvulas	X	
4¿Es necesario ejecutar o actualizar el catastro de redes?	X	
5. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de edad?		X
6. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de material?		X
7. ¿Existe el personal capacitado para operar la red y hacer el mantenimiento?	X	
8. ¿Está definido el presupuesto para optimizar la red de distribución ?		X

Fuente: El autor

5.1.5 DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL

5.1.5.1 . Diagnóstico comercial

5.1.5.1.1 Consumos Facturados

Tabla 18. Consumos facturados

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ						
FORMATO DE -10	CONSUMOS FACTURADOS					
ESTRATOS / USOS	Consumos facturados en los últimos 6 meses a usuarios con medidor funcionando (m³/mes)					
	1	2	3	4	5	6
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Estrato 1	1239	993	930	1029	1058	1030
Estrato 2	3288	2657	2776	3193	2849	3582
Estrato 3	539	404	472	502	452	544
Estrato 4	N / A	26	21	22	26	14
Estrato 5	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
Estrato 6	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
SUBTOTAL	5066	4080	4199	4746	4385	5170
Industrial	216	192	186	253	210	220
Comercial	468	337	361	676	521	518
Oficial	320	419	396	607	409	479
TOTAL	6070	5028	5142	6282	5525	6387

Fuente: El autor

Tabla 19. Análisis Consumos facturados.

SERVIRSORACÁ - MUNICIPIO DE SORACÁ							
FORMATO DE -10	ANÁLISIS DE CONSUMOS FACTURADOS						
ESTRATOS / USOS	CPM	NUP	CPMU	CFUSM	VFUSM	CFUCMP	VFUCMP
	7	8	(7/8)	9	10	11	12
Estrato 1	1047	97	10,7	0	0	0	0
Estrato 2	3058	311,5	9,8	0	0	9,8	49,0
Estrato 3	486	26,8	18,0	0	0	0	0
Estrato 4	22	1	21,8	0	0	0	0
Estrato 5	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
Estrato 6	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
SUBTOTAL	4608	435,3	N / A	N / A	N / A	N / A	N / A
Industrial	213	5,1	41,1	0	0	0	0
Comercial	480	24,3	19,7	0	0	0	0
Oficial	438	16	27,3	0	0	0	0
TOTAL	5739	480,8	N / A	0	0	9,8	49,0

Fuente: El autor

El consumo de agua en metros cúbicos por usuario al mes, para el estrato uno y dos se encuentra en aproximadamente 10 m^3 / suscriptor * mes, un valor enmarcado en las dotaciones normales de un sistema de complejidad bajo.

Sin embargo, en el análisis de consumos de usuarios, se logró establecer consumos menores a 6 m^3 /mensuales, correspondientes a una dotación de $66 \text{ l/hab}^*\text{día}$, para el caso de análisis de un suscriptor con 3 habitantes. Dotaciones muy por debajo de $120 \text{ l/hab}^*\text{día}$, que corresponden a las máximas enmarcadas en la resolución 0330 de 2017, para la zona de estudio y que no son equivalentes a los consumos generados por otros usuarios con condiciones similares.

La empresa de servicios públicos ha detectado usuarios fraudulentos, en donde generalmente la conexión utilizada es el by pass junto al micromedidor, midiendo parte del caudal ingresado al usuario, según lo informado por la empresa de servicios públicos, sin embargo, no existe información referente a estas detecciones, así como tampoco registro fotográfico.

La empresa de servicios públicos de Soracá Servir Soracá, comenta conocer la existencia de posibles usuarios fraudulentos, pero ante este escenario se encuentra sin un proceder claro, sin equipos como geófonos que permitan hacer detección de fugas, sin registro de fugas, roturas y reparaciones, así como tampoco de un censo por estratos que permita determinar específicamente para cada usuario de acuerdo a la facturación las dotaciones de consumo.

El diagnóstico sobre los aspectos institucionales evidencia el compromiso comercial de la Empresa de servicios públicos de Soracá, debido a que se ha realizado una transformación empresarial; pero a su vez se evidencio la falta de implementación de un programa permanente de control de pérdidas y de agua no contabilizada.

5.1.6 BALANCE DE AGUAS

Tabla 20. Balance de aguas

AGUAS DE- MUNICIPIO SORACÁ			
FORMATO BA-01		BALANCE DE AGUAS	
Variable	Nombre de la variable	Unidad	Valor
V1	Población urbana	Habitantes	751,0
V2	Número de domicilios(incluye viviendas, establecimientos comerciales, industriales, oficiales e institucionales)	Unidades	485,0
V3	Número de conexiones o usuarios registrados	Unidad	485,0
V4	Número de conexiones con medidor en funcionamiento	Unidad	480,0
V5	Número de conexiones con medidor parado	Unidad	5,0
V6	Número de conexiones sin medidor	Unidad	0,0
V7	Número estimado de conexiones clandestinas	Unidad	0,0
V8	Volumen facturado a usuarios con medidor en funcionamiento	M ³ /mes	6387,0
V9	Volumen facturado a usuarios con medidor parado	M ³ /mes	49,1
V10	Volumen facturado a usuarios sin medidor	M ³ /mes	0,0
V11	Volumen facturado por venta de agua en bloque	M ³ /mes	0,0
V12	Volumen total facturado	M ³ /mes	6387,0
V13	Error promedio en los micromedidores	%	5,0
V14	Volumen real de consumo en usuarios con medidor en funcionamiento	M ³ /mes	6706,4
V15	Consumo real por usuario con medidor en funcionamiento	(M ³ /mes -usuario)	14,0
V15A	Factor de consumo adicional en usuarios sin medición	Factor	1,0
V16	Consumo real por usuario sin medición	(M ³ /mes -usuario)	0,0
V17	Volumen de consumo en usuarios con medidor parado	M ³ /mes	69,9
V18	Volumen de consumo en usuarios sin medición	M ³ /mes	0,0
V19	Pérdidas por error en micromedición	M ³ /mes	319,4
V20	Pérdidas por usuarios sin medición	M ³ /mes	0,0
V21	Pérdidas por usuarios con medidor parado	M ³ /mes	20,8
V22	Pérdidas por usuarios clandestinos	M ³ /mes	0,0
V23	Total pérdidas comerciales	M ³ /mes	340,1
V24	Volumen de agua captado	M ³ /mes	12237,6
V25	Volumen de agua cruda recibido de otra fuente	M ³ /mes	360,0
V26	Volumen de agua cruda vendido	M ³ /mes	0,0

V27	Volumen de entrada a la planta	M ³ /mes	10186,6
V28	Perdidas en el proceso de captación	M ³ /mes	2051,0
V29	Volumen de consumo interno de la planta o gasto operacional de la planta	M ³ /mes	155,6
V30	Perdidas por estanqueidad, filtración en válvulas y accesorios en planta	M ³ /mes	944,9
V31	Volumen de salida de la planta	M ³ /mes	9014,0
V32	Perdidas por otras fugas y reboses en la planta	M ³ /mes	72,0
V33	Volumen de agua tratada comprada a otro sistema	M ³ /mes	0,0
V34A	Volumen producido (suministrado por la ESP)	M ³ /mes	9093,0
V34	Volumen producido (con medición)	M ³ /mes	9093,0
V34B	Pérdidas por error en macromedición	M ³ /mes	0,0
V35	Volumen de entrada a los tanques de almacenamiento	M ³ /mes	9392,0
V36	Volumen de pérdidas por estanqueidad en los tanques de almacenamiento	M ³ /mes	299,0
V37	Volumen de salida de los tanques de almacenamiento.	M ³ /mes	9093,0
V38	Volumen de pérdidas por reboses en tanques	M ³ /mes	0,0
V39	Volumen por venta de agua en bloque	M ³ /mes	0,0
V40	Caudal mínimo nocturno medido	M ³ /mes	769,7
V41	Consumos mínimos nocturnos conocidos	M ³ /mes	0,0
V42	Caudal promedio diario	M ³ /mes	9958,7
V43	Volumen de consumo operacional (lavado de tanques más purga y lavado de tuberías)	M ³ /mes	0,0
V44	Pérdidas por consumos especiales sin medidor(Riego de parques bomberos fuentes públicas)	M ³ /mes	0,0
V45	Pérdidas en el proceso de distribución	M ³ /mes	2706,0
V46	Pérdidas en tanques de almacenamiento	M ³ /mes	299,0
V47	Pérdidas en fugas visibles y no visibles	M ³ /mes	769,7
V48	Pérdidas en operación inadecuada del sistema	M ³ /mes	1297,2
V49	Factor de investigación	Factor	0,1
V50	Pérdidas en el proceso de CAPTACION	%	20,1
V51	Pérdidas en el proceso de TRATAMIENTO	%	10,0
V52	IANC en el proceso de DISTRIBUCION	%	29,8

Fuente: El autor

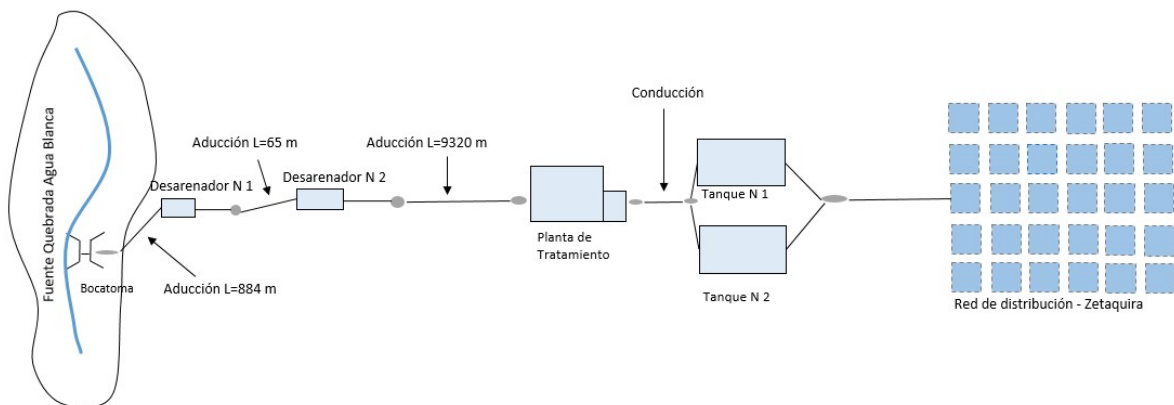
5.2 DIAGNOSTICO TECNICO MUNICIPIO DE ZETAQUIRA

El municipio de Zetaquirá se encuentra ubicado en la provincia Lengupá, del departamento de Boyacá, en las estribaciones de la Cordillera Oriental correspondiente a la zona suroccidental, con alturas desde 1875 msnm hasta 3600 msnm, cuenta con territorios montañosos y posee una extensión de 262 km². El municipio está situado a 67 km de la ciudad de Tunja, capital del departamento.

5.2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

El sistema de acueducto del municipio de Zetaquirá se compone por un sistema de captación, una línea de aducción, una planta de tratamiento y una red de distribución.

Figura 18. Esquema general del sistema de acueducto de Zetaquirá



Fuente: El autor

5.2.1.1 Fuente de abastecimiento “Quebrada Agua Blanca”

Actualmente el municipio de Zetaquirá, cuenta con la fuente de abastecimiento denominada “Quebrada Agua Blanca” cuyo caudal es derivado mediante un sistema de captación, ubicado a una altura de 2185 msnm en la vereda Guanatá del mismo municipio. El sistema de captación se encuentra constituido en general por una bocatoma de fondo, una bocatoma lateral y una cámara de derivación

5.2.1.1.1 Bocatoma de fondo

La bocatoma está construida en concreto reforzado, con ancho aproximado de 10 m, dos rejillas de 0.9 m de largo por 0.3 m de ancho que captan el agua y la dirigen mediante un canal hacia la cámara de derivación.

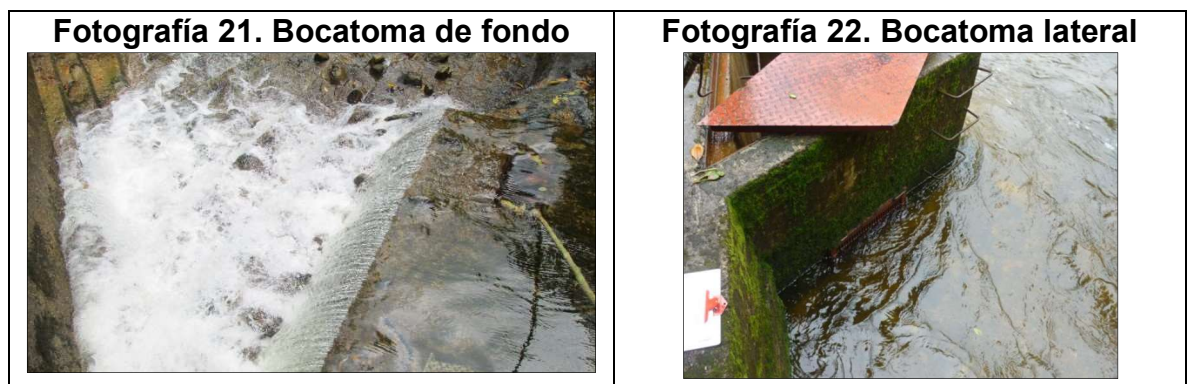
5.2.1.1.2 Bocatoma lateral

La bocatoma lateral cuenta con una rejilla que capta el agua y la dirige mediante un canal hacia la cámara de derivación.

5.2.1.1.3 Cámara de derivación.

Corresponde a una estructura que recolecta el agua de las dos bocatomas, de esta estructura se desprenden 4 tuberías, de las cuales tres conducen el agua a tres veredas y la restante transporta el agua en tubería PVC de 4 pulgadas hacia el desarenador del sistema de acueducto para el casco urbano.

La cámara de derivación no cuenta con ninguna estructura que permita evacuar el caudal de excesos.



Fuente: El autor

5.2.1.1.4 Desarenador

El sistema de desarenación se compone por dos desarenadores de flujo horizontal, en la vereda Guanatá del municipio de Zetaquirá.

- **Desarenador 1:**

Se encuentra ubicado a 884.39 metros de la bocatoma y a una altura de 2097 msnm, esta estructura está conformada por dos compartimientos de aproximadamente 0.90 m de profundidad, no cuenta con cámara disipadora de energía ni cámara de vertedero de excesos. Los dos compartimientos se unen al final en una caja que, mediante una tubería de 4 pulgadas en PVC, transporta el agua hacia el desarenador 2.

- **Desarenador 2:**

Se encuentra ubicado a 65 metros del desarenador 1 y a una altura de 2077 msnm, la tubería de entrada al desarenador 2 es de 4 pulgadas, la estructura está conformada por una cámara de entrada de 1.31 m x 1.12 m y 1.50 m de profundidad, también un vertedero de 0.87 m al costado de la cámara de entrada y la cámara de

sedimentación de 5.60 m de largo por 1.68 m de ancho con profundidad mínima de 1.48 m y profundidad máxima de 2.18 m, el cual contiene dos pantallas deflectoras del flujo. Finalmente, el desarenador 2 cuenta con un vertedero de salida que direcciona el flujo a una caja de salida de dimensiones de 1.68 m x 0.85 y 0.92 m de profundidad en donde se encuentra una tubería de 4 pulgadas en PVC que conduce el agua al sistema de tratamiento.



Fuente: El autor

5.2.1.1.5 Línea de aducción

Se ubica en la vereda Guanatá, entre las abscisas K0+000 m y K10+284,4 m. Esta línea se encuentra en material PVC, posee un diámetro de 4 pulgadas y está dividida en tres tramos, que se mencionan a continuación.

Tabla 20. Línea de aducción

Abscisa	Longitud	Tramo	Cota	Diámetro	Observación
0	884,39	1	2185	4 pulgadas	Salida Bocatoma
884,39			2097,58	4 pulgadas	Llegada desarenador 1
890,07	65,43	2	2095,97	4 pulgadas	Salida desarenador 1
955,5			2077,96	4 pulgadas	Llegada desarenador 2
963,63	9320,9	3	2077,73	4 pulgadas	Salida desarenador 2
10284,43			1731,52	4 pulgadas	Entrada a la PTAP

Fuente: El autor

En la cámara de quiebre, ubicada en el tramo 3, se realiza el vertimiento de excesos que llegan desde el desarenador en tubería de 4 pulgadas, una tubería de 2 pulgadas conduce el caudal de exceso hacia la parte baja de la montaña, mientras que el caudal restante es conducido en tubería de 4 pulgadas hacia la Ptap.

5.2.1.2 Planta de tratamiento de agua potable

La planta de tratamiento del sistema de acueducto urbano del Municipio de Zetaquirá se encuentra ubicada en la parte alta a las afueras del municipio a una altura de 1730 msnm, esta planta de tratamiento es de tipo convencional.

La planta de tratamiento de agua potable se compone por la caja del macromedidor de entrada, cámara de mezcla rápida, floculador, a partir de este proceso se encuentran dos trenes de tratamiento de agua, cada uno cuenta con un sedimentador de alta tasa y un proceso de filtro rápido, los dos trenes de tratamiento confluyen en el tanque de almacenamiento N1.

5.2.1.2.1 Caja del macromedidor de entrada

La caja del macromedidor contiene un macromedidor de cuatro (4) pulgadas y un filtro "Y" en la tubería de llegada a la planta de tratamiento correspondiente a la línea de aducción proveniente del desarenador N° 2. Actualmente el macromedidor, se encuentran fuera de servicio, debido a un daño en el mecanismo de lectura del equipo.

Fotografía 25. Macromedidor de entrada



Fuente: El autor

5.2.1.2.2 Cámara de mezcla rápida

Corresponde a una estructura cilíndrica de 0.60 m de diámetro y una longitud de 0,60 m, que recibe el caudal de la línea de aducción, generando una turbulencia que permita la mezcla del agua y el floculante en un alto gradiente de velocidad.

5.2.1.2.3 Floculador

El floculador de la planta de tratamiento es de tipo hidráulico, es una estructura que contiene 9 cámaras de 1 m x 1 m y 1.17 m de profundidad, cada cámara contiene

un tabique deflector de flujo y orificios de interconexión entre cámaras de 6 pulgadas de diámetro.

5.2.1.2.4 Tren de tratamiento N°1.

- Sedimentador

El sedimentador de alta tasa es una estructura de 2.20 x 1.25 y 3.70 m de profundidad con módulos plásticos de ductos hexagonales, el agua entra por la parte inferior del sedimentador y asciende hacia la parte superior.

- Filtro rápido

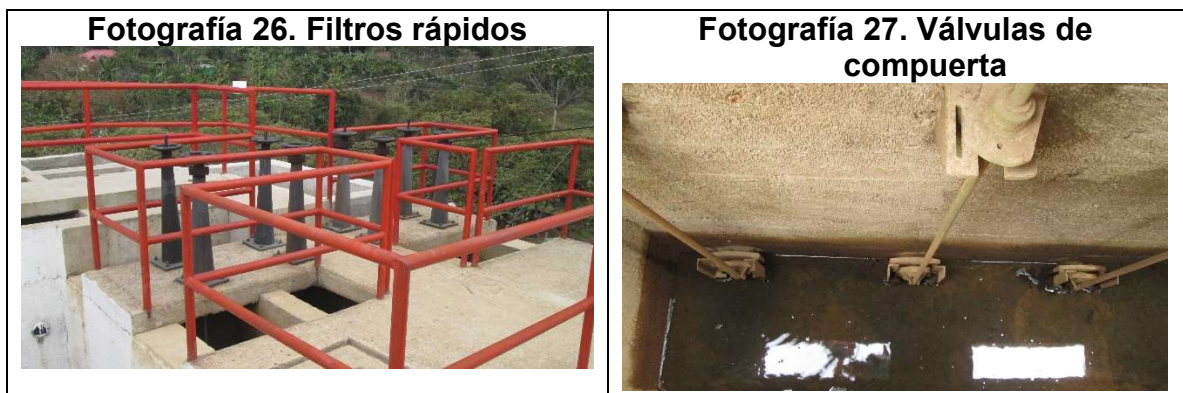
El proceso de filtración comprende cuatro filtros cada uno de 1.04 m x 0.70 m y 5.25 m de profundidad, cada filtro tiene una válvula de compuerta lateral de un diámetro de 4 pulgadas de admisión del flujo al filtro y otra compuerta de igual diámetro de desagüe. El lecho filtrante y de soporte tienen una profundidad de 0.70 m

5.2.1.2.5 Tren de tratamiento N°2.

- Sedimentador

El sedimentador de alta tasa es una estructura de 2.82 x 1.20 y 3.10 m de profundidad con módulos plásticos de ductos hexagonales, los cuales se encuentran en regular estado, el agua entra por la parte inferior del sedimentador y asciende hacia la parte superior atravesando los módulos de plástico.

Filtro rápido



Fuente: El autor

El proceso de filtración comprende cuatro filtros cada uno de 1.0 m x 0.80 m y 5.20 m de profundidad, cada filtro tiene dos válvulas de compuerta lateral de un diámetro de 4 pulgadas, la primera de admisión del flujo al filtro y la segunda de desagüe. El lecho filtrante y de soporte tienen una profundidad de 0.60 m.

5.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.2.2.1 Tanque de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento se encuentran ubicado en el predio de la planta de tratamiento de agua potable, y corresponde a una estructura que tiene una capacidad de 238 m³.

Fotografía 28. Tanques de almacenamiento



Fuente: El autor

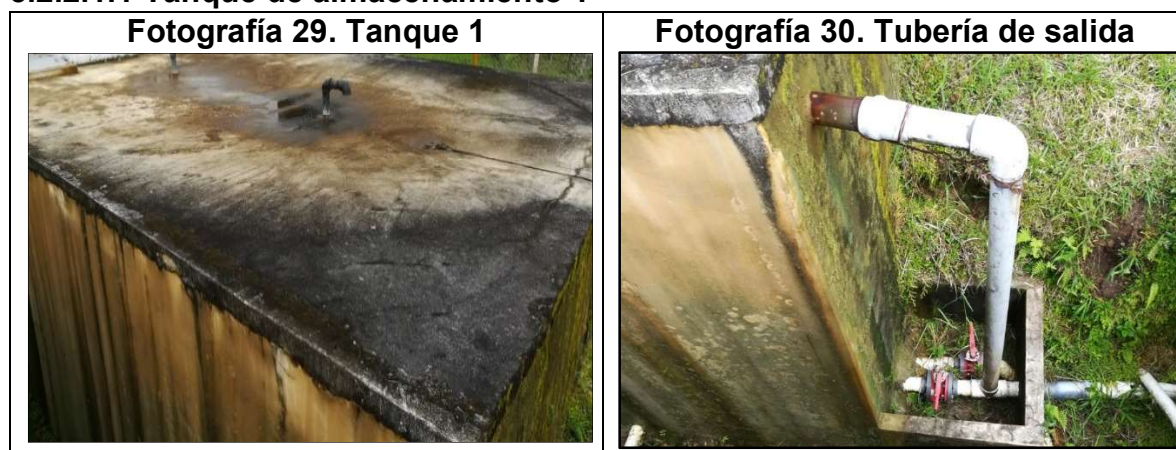
A continuación, se presenta las características físicas de los tanques de almacenamiento.

Tabla 22. Diagnóstico de los tanques de almacenamiento

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS ZETAQUIRA		
FORMATO DT-09	DIAGNOSTICO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO	
Nombre / Ubicación	Tanque 1- Viejo	Tanque 2- Nuevo
Localización	PTAP - Guamal	PTAP - Guamal
Tipo	Semi-enterrado en concreto	Semi-enterrado en concreto
Dimensiones	Rectangulares	Rectangulares
Alto (m)	2,9	3
Ancho (m)	5,89	3,7
Largo(m)	8,63	10,14
Capacidad(m³)	133	105
Nivel máximo	2,62	2,8
Nivel mínimo	0,2	0,2
Numero de fisuras	Ninguna	Ninguna
Numero de fugas	Ninguna	Ninguna
Barrios o zonas que abastece	Todos los barrios o zonas del casco urbano del Municipio. Los dos tanques se encuentran interconectados sin asignación específica de zonas de servicio.	

Fuente: El autor

5.2.2.1.1 Tanque de almacenamiento 1



Fuente: El autor

La tubería de salida del tanque de almacenamiento N° 1 se encuentra en tubería PVC de 4 pulgadas, a esta tubería se une la tubería que sirve de rebose en el tanque de almacenamiento. Adicional se cuenta con una tubería de desagüe en 4 pulgadas que permite evacuar el agua para el mantenimiento y lavado del tanque.

5.2.2.1.2 Tanque de almacenamiento 2

La tubería de salida del tanque de almacenamiento N° 2 se encuentra en tubería PVC de 4 pulgadas, a esta tubería se une la tubería que sirve de rebose en el tanque de almacenamiento. Adicional se cuenta con una tubería de desagüe en 4 pulgadas que permite evacuar el agua para el mantenimiento y lavado del tanque.

5.2.2.1.3 Macromedidor de Salida

Las tuberías de salida procedentes de los tanques de almacenamiento se unen a 5 metros de distancia y a partir de este punto, a un metro de longitud se encuentra el macromedidor de salida

Fotografía 31. Unión de las tuberías



Fotografía 32. Macromedidor de salida



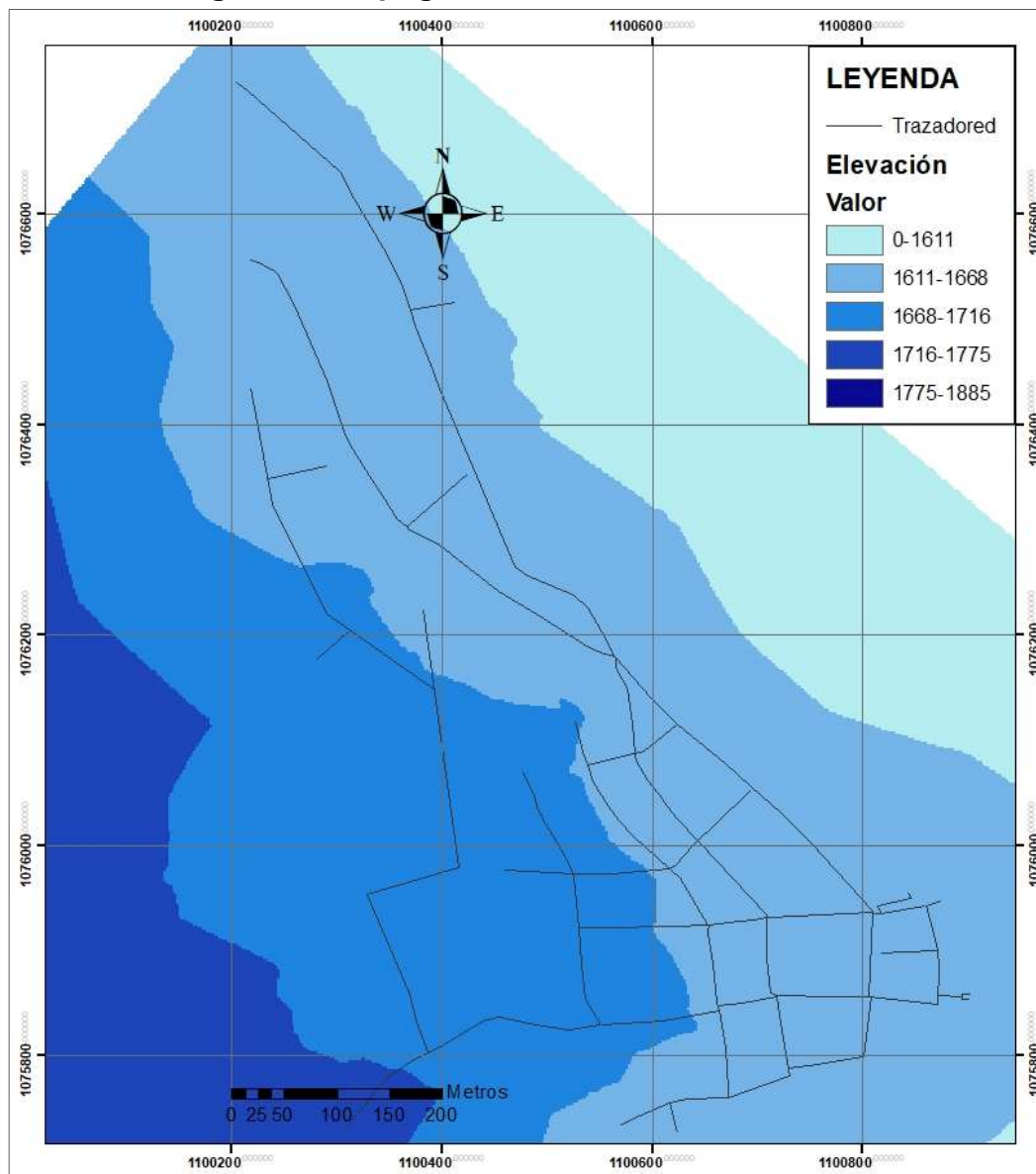
Fuente: El autor

5.2.2.2 Red de distribución del sistema de acueducto

5.2.2.2.1 Topografía de la red

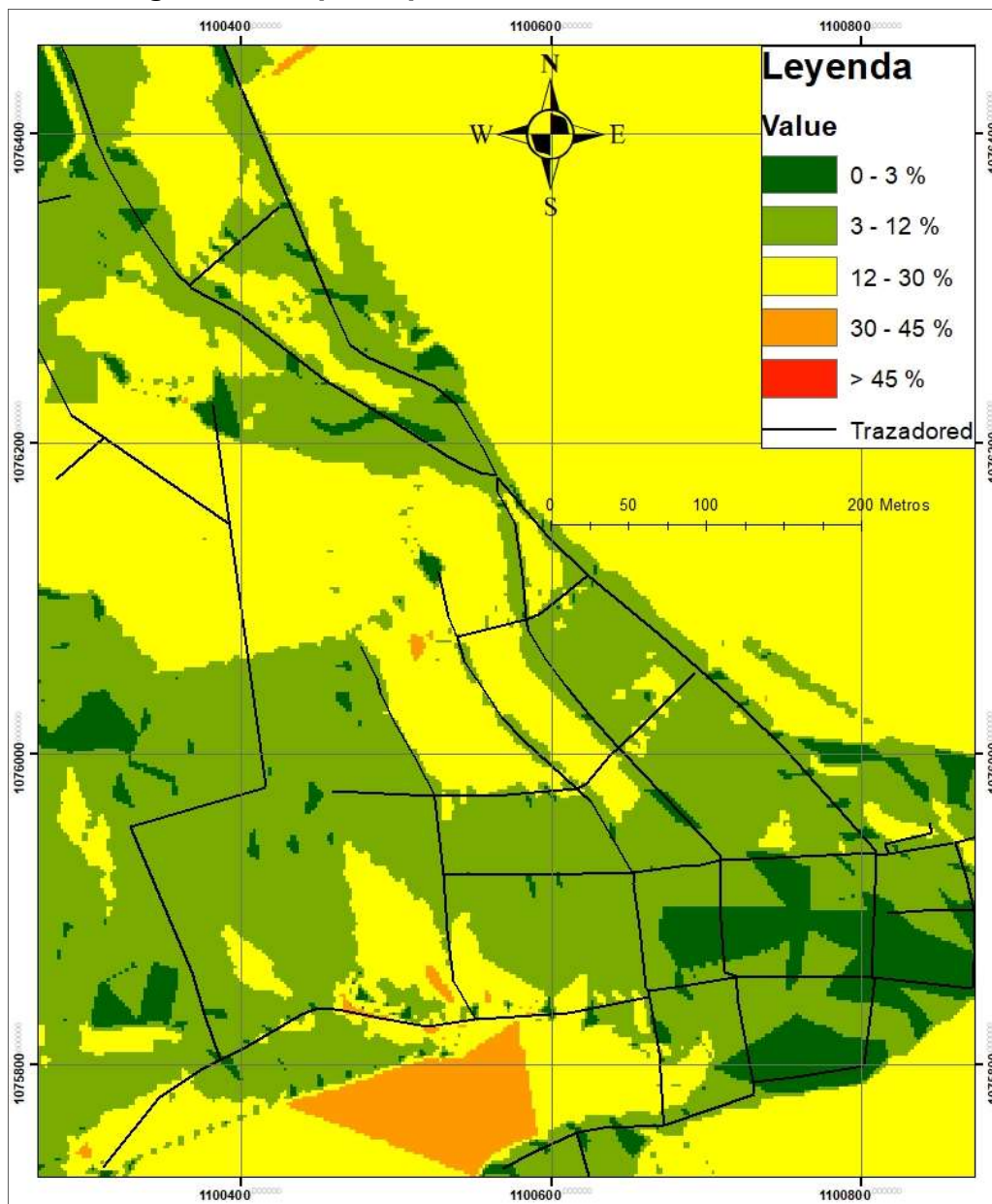
El plano de elevación y pendientes del municipio de Zetaquirá, permite visibilizar las diferentes regiones del municipio con pendientes similares, gran parte del casco urbano posee pendientes entre el 3 - 12 % y 12 -30 %. La tubería principal de la red de distribución maneja una pendiente entre el 12 y 30%, por tanto, se tendrá en este tramo una alta energía disponible

Figura 19. Topografía de la red de distribución



Fuente: El autor

Figura 20. Mapa de pendientes de la zona de estudio



Fuente: El autor

La salida del tanque de almacenamiento se encuentra en la cota 1730 msnm, la cota del nodo en la red con menor elevación corresponde a 1626 msnm, por tanto, la presión estática en la hora de menor consumo en el punto crítico corresponderá a aproximadamente 104 m.c.a.

5.2.2.2.2 Topología de la red

La red de distribución cuenta con una tubería principal en 4 pulgadas y la red secundaria se encuentra en 3 pulgadas, 2 pulgadas, 1 pulgada y $\frac{3}{4}$ de pulgada.

En el Anexo 4, se encuentra el plano de la red de distribución de agua potable.



Fuente: El autor

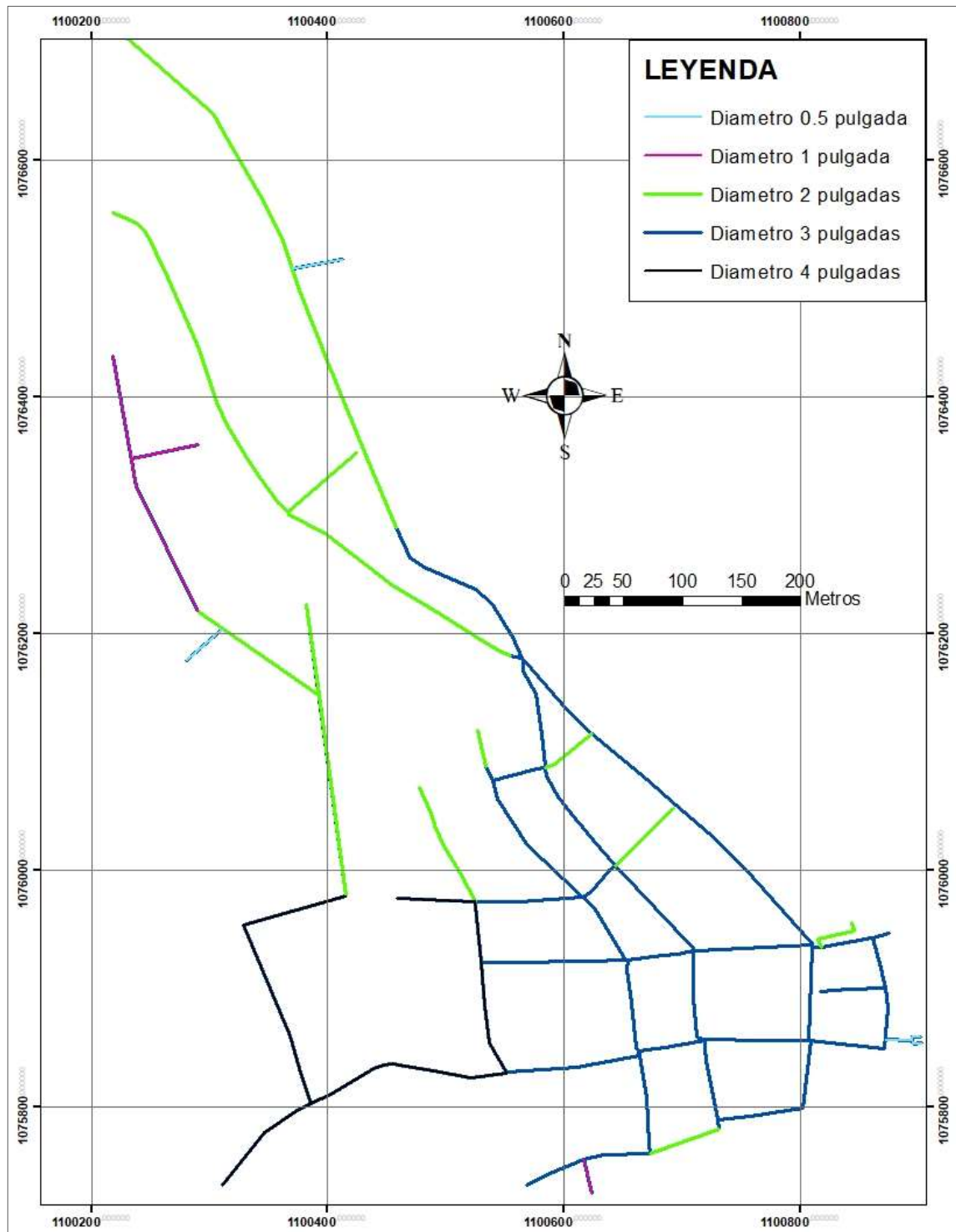
Tabla 23. Diagnóstico rápido de la red.

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS ZETAQUIRA								
FORMATO DT- 11			DIAGNÓSTICO RÁPIDO DE LA RED					
Red	Diámetro	Material	Longitud (m)	N°	válvulas		Hidrantes	
					Tipo	Estado	N°	Estado
Matriz	4"	PVC	530,5					
Secundaria	3"	PVC	2556,15	14	compuerta	13 R; 1 M	3	B
	2"	PVC	987,23	2	compuerta	2 R		
	1"	PVC	851,4	1	compuerta	1 R		
	3/4"	PVC	369					
Totales			5294,3	17			3	

Fuente: El autor

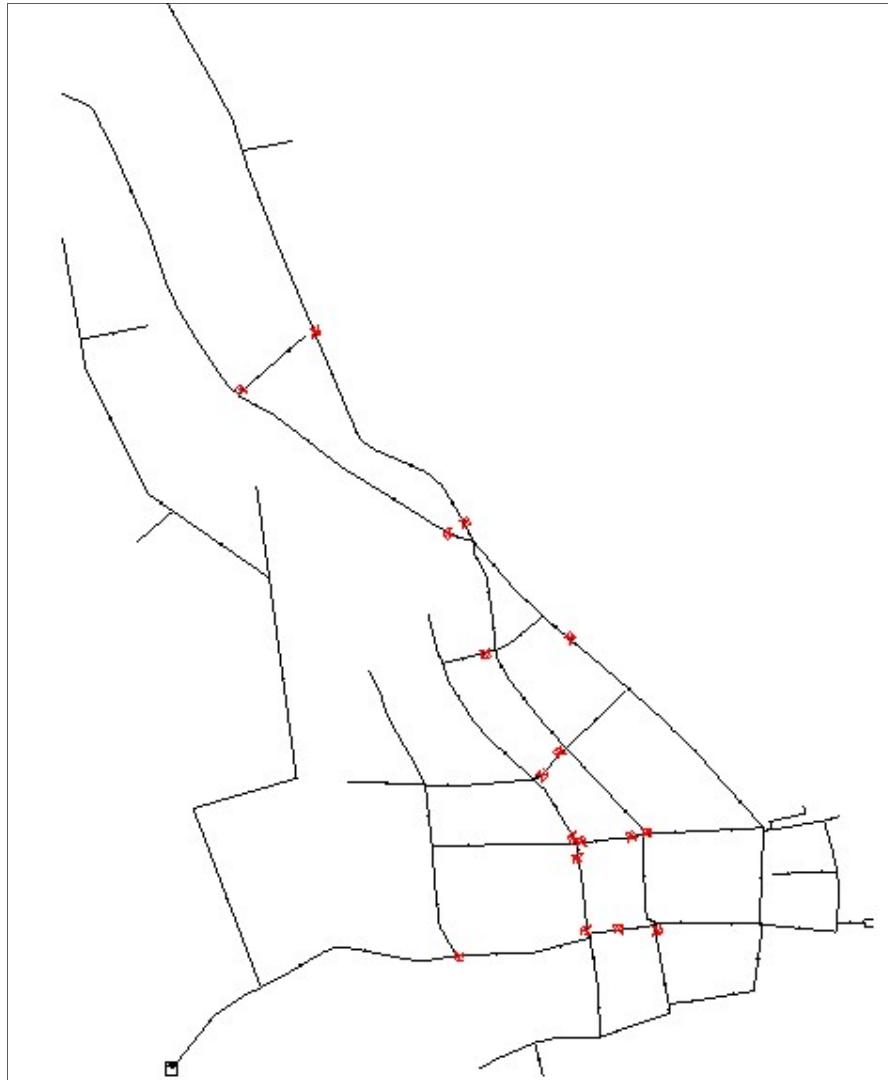
Actualmente el sistema de distribución cuenta con 17 válvulas, estas se encuentran totalmente abiertas, no se operan con regularidad y no permiten una completa sectorización.

Figura 21. Topología de la red



Fuente: El autor

Figura 22. Válvulas en la red de distribución



Fuente: El autor

5.2.3 DIAGNÓSTICO DE PERDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los resultados del diagnóstico de las estructuras que comprenden el subsistema de producción, estableciendo la cuantía de pérdidas de agua.

5.2.3.1 Fuente de abastecimiento “Quebrada Agua Blanca”

5.2.3.1.1 Bocatoma

Tabla 24. Diagnóstico de la captación

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS ZETAQUIRA					
FORMATO DT-03		DIAGNÓSTICO DE LA CAPTACION			
Nombre / ubicación	Tipo de captación	Caudal de operación (l/s)	Caudal de operación (m³/mes)	Estado y funcionamiento	Mantenimiento
Rio lengupa / Quebrada agua blanca	Bocatoma de fondo	18,5	47952	Bueno	Regular

Fuente: El autor

La estructura en términos generales, se encuentra en buen estado, las fugas que se presentan en la cámara de derivación corresponde a reboses debidos a la falta de vertedero de excesos del caudal que es captado por las dos bocatoma.

5.2.3.1.2 Desarenador

Tabla 25. Diagnóstico del desarenador

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS ZETAQUIRA					
FORMATO DT-04			DIAGNÓSTICO DEL DESARENADOR		
Nombre / Ubicación	Caudal de operación (L/s)	Estado de acceso	Estado de colmatación	Estado de la estructura	Mantenimiento y limpieza
Desarenador 1 Guanatá	18,5	Regular	Bajo	Mala- presenta fugas	No se hace
Desarenador 2 Guanatá	18,5	Cuenta con cerramiento	Bajo	Mala- presenta fugas	Bueno

Fuente: El autor

El desarenador 1 en cuanto al aspecto de fugas la estructura presenta reboses, debido a la falta de una cámara disipadora de energía, que permita reducir la gran velocidad con la que llega el caudal desde la bocatoma.

El desarenador 2 se encuentra funcionando hidráulicamente de manera adecuada, tiene el tiempo de retención suficiente para la remoción de partículas. En cuanto al aspecto de fugas, la cámara de entrada al desarenador se encuentra deteriorada, y presenta fugas. El volumen de agua generado por las fugas se infiltra en el suelo donde se encuentra el desarenador y puede provocar un posible riesgo de inestabilidad en la banca.

5.2.3.1.3 Línea de aducción

Tabla 26. Diagnóstico de la aducción

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS ZETAQUIRA						
FORMATO DT-05			DIAGNÓSTICO DE ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN			
Tramo	Tipo de material	Sección/diámetro	Longitud (m)	Capacidad (L/s)	Accesorios	Observaciones
Aducción (Captación-Planta)	Tuberías en PVC	4"	10284,43	18,5	Una cámara de quiebre	En la cámara de quiebre tienen un desvío de caudal en tubería de 2 pulgadas que lleva a una quebrada. Por tal motivo el caudal de la entrada a la PTAP es menor al que transporta en la aducción.

Fuente: El autor

5.2.3.2 Planta de tratamiento de agua potable.

Tabla 27. Diagnóstico global de la planta de tratamiento

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS ZETAQUIRA			
FORMATO DT-06		DIAGNOSTICO GLOBAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	
Nombre/ ubicación	Proceso de tratamiento	Estado de la estructura	Operación y mantenimiento
Planta de tratamiento convencional	Floculación	Nueva pero presenta filtraciones	Aceptable Mantenimiento mensual de las distintas unidades. Se presentan fugas de agua en las válvulas de compuerta del paso de los filtros.
	Sedimentación	La velocidad de llegada a los sedimentadores es muy alta	
	Filtración rápida	Regular - presentan fugas 6 de las 8 válvulas	
	Desinfección, con aplicación de hipoclorito de Calcio.	Regular	

Fuente: El autor

5.2.3.2.1 Caudal de operación de la planta de tratamiento de agua potable.

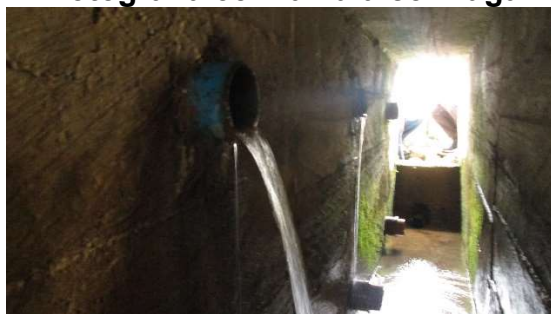
Tabla 28. Diagnóstico de capacidad de la planta

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS ZETAQUIRA					
FORMATO DT-07			DIAGNOSTICO DE CAPACIDAD DE LA PLANTA		
Nombre/ubicación	und	Caudal		Pérdidas de la planta (m ³ /mes)	Consumo interno de la planta(m ³ /mes)
		De entrada	De salida		
Planta de tratamiento	l/s	10,0	7,75	4616	1300
	m ³ /mes	26004	20088		

Fuente: El autor

Las pérdidas por estanqueidad se presentan en las válvulas de paso de los filtros debido a deficiencias en los carriles de guía de apertura y cierre, permitiendo escape de agua haciendo que pase a los lechos donde se infiltra en el terreno generando un posible riesgo de inestabilidad.

Fotografía 35. Válvula con fuga



Fotografía 36 Fugas de agua



Fuente: El autor

5.2.4 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.2.4.1 Diagnóstico de pérdidas en el tanque de almacenamiento

Tabla 29. Diagnóstico de caudales y estanqueidad en el tanque

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS ZETAQUIRA						
DT-10	DIAGNOSTICO DE CAUDALES Y ESTANQUEIDAD EN EL TANQUE					
Tanque N°	Caudal		Pérdidas por estanqueidad (m ³ /mes)	Caudal promedio diario (Qpd)	Caudal mínimo nocturno (Qmn)	Caudal mínimo nocturno conocido (Qmnc)
	De entrada	De salida				
1	7,75 lps	7,75	0	7,75	7,2	0
2			0			
TOTAL	7,75 lps	7,75	0	7,75	7,2	0

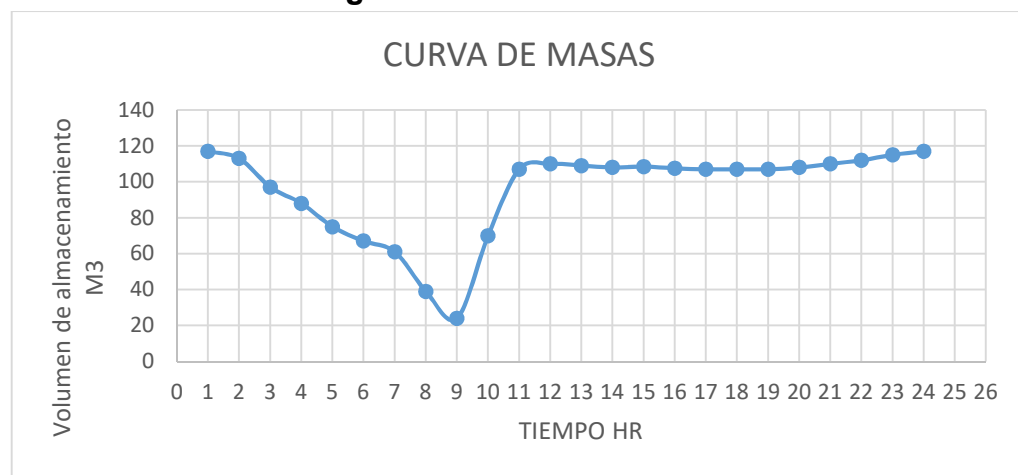
Fuente: El autor

El tanque 1 es utilizado por el operario de la planta de tratamiento como sedimentador, es decir, que la lámina de agua esta regularmente en el nivel máximo haciendo el proceso de decantación.

5.2.4.1.1 Curva de masas en el tanque de almacenamiento

La curva de variación del volumen de agua en el tanque permite establecer para el día del ensayo, un valor máximo de almacenamiento a las 01 horas del día y mediante la proyección de la tendencia se evidencia los niveles mínimos de almacenamiento entre las 09 horas, por tanto, las presiones en la red de distribución poseerán una presión alta en las primeras horas del día.

Figura 23. Curva de masas



Fuente: El autor

Se observa que los niveles más bajos de la lámina de agua en el tanque de almacenamiento se presentan desde las 08:00 am hasta las 10:00 am, siendo estas horas las de máximo consumo en la red.

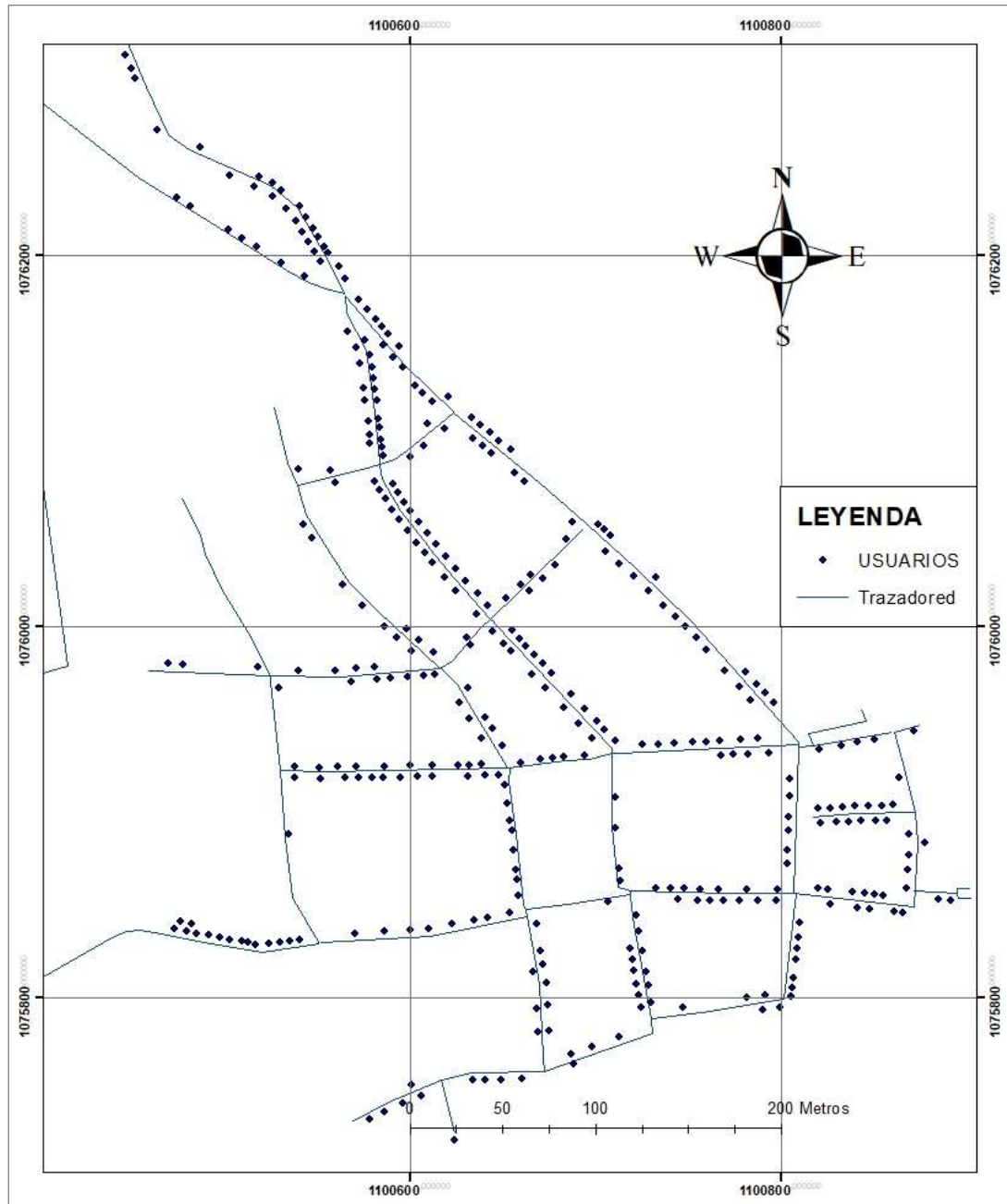
5.2.4.2 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN.

5.2.4.2.1 Cálculo y asignación de la demanda.

El caudal medio diario en la red de distribución del municipio, se calculó en 4,51 l/s, en el anexo, se presentan las demandas de consumo para cada uno de los usuarios de la red de distribución.

- Distribución espacial de la demanda.

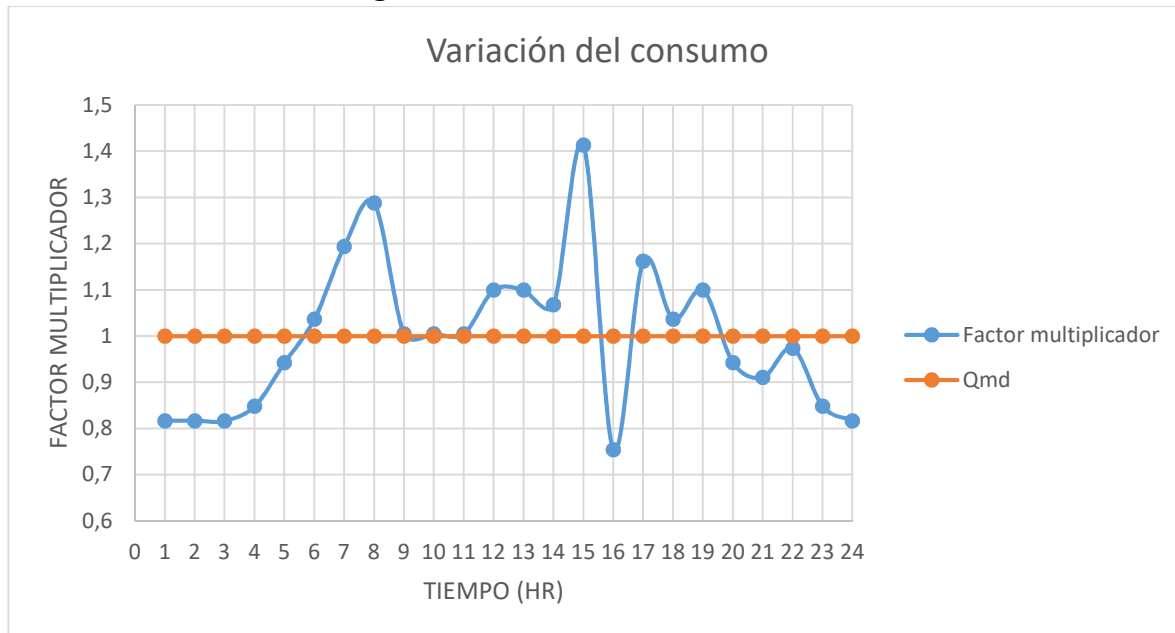
Figura 24. Mapa de usuarios



Fuente: El autor

A continuación, se presentan los factores horarios de la variación del consumo, con el fin de realizar el modelo hidráulico en el análisis de periodo extendido.

Figura 25. Variación del consumo



Fuente: El autor

5.2.4.2.2 Ensayo de pitometría

- **Continuidad Del Servicio**

El sistema de acueducto de Zetaquirá brinda un servicio de acueducto continuo las 24 horas del día para los usuarios de la red de distribución, por tanto, el ensayo de pitometría se realiza durante las veinticuatro horas.

- **Análisis de resultados en el tanque de almacenamiento**

Tabla 30 Comportamiento del agua en el tanque de almacenamiento

Hora	Volumen Tanque (m3)	Lectura	Diferencia	Tiempo (s)	Caudal (l/s)	Caudal (m3/s)
1:00 a. m.	117	630389	26	3600	7,22	0,01
2:00 a. m.	113	630415	26	3600	7,22	0,01
3:00 a. m.	97	630441	26	3600	7,22	0,01
4:00 a. m.	88	630467	26	3600	7,22	0,01
5:00 a. m.	75	630494	27	3600	7,50	0,01
6:00 a. m.	67	630524	30	3600	8,33	0,01
7:00 a. m.	61	630557	33	3600	9,17	0,01
8:00 a. m.	39	630595	38	3600	10,56	0,01
9:00 a. m.	24	630636	41	3600	11,39	0,01
10:00 a. m.	70	629904	32	3600	8,89	0,01
11:00 a. m.	107	629936	32	3600	8,89	0,01
12:00 p. m.	110	629968	32	3600	8,89	0,01
1:00 p. m.	109	630003	35	3600	9,72	0,01
2:00 p. m.	108	630038	35	3600	9,72	0,01
3:00 p. m.	108,5	630072	34	3600	9,44	0,01
4:00 p. m.	107,5	630117	45	3600	12,50	0,01
5:00 p. m.	107	630141	24	3600	6,67	0,01
6:00 p. m.	107	630178	37	3600	10,28	0,01
7:00 p. m.	107	630211	33	3600	9,17	0,01
8:00 p. m.	108	630246	35	3600	9,72	0,01
9:00 p. m.	110	630276	30	3600	8,33	0,01
10:00 p. m.	112	630305	29	3600	8,06	0,01
11:00 p. m.	115	630336	31	3600	8,61	0,01
12:00 a. m.	117	630363	27	3600	7,50	0,01

Fuente: El autor

De acuerdo a los registros de las mediciones de volumen en el macromedidor de salida del tanque de almacenamiento, se distribuyó en la red un caudal promedio de 8,84 l/s, en el día del ensayo de pitometría. El caudal promedio diario del día del ensayo es superior al caudal promedio diario de salida correspondiente al mes de análisis.

- **Puntos monitoreados en la red**

A continuación, se presenta la tabla resumen de los puntos establecidos para el monitoreo del ensayo de pitometría.

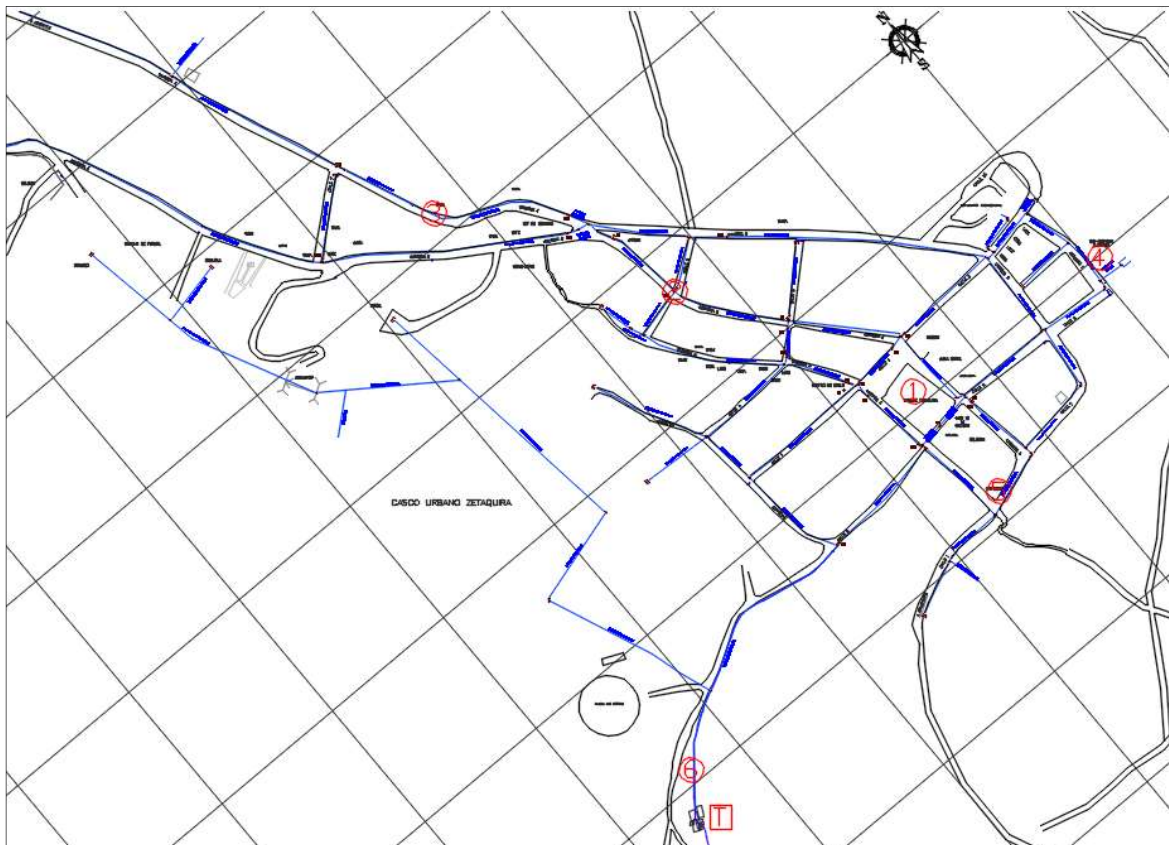
Tabla 31. Puntos monitoreados

PUNTO MONITOREADO	Dirección	Red a la que pertenece	Coordenadas
1	Parque principal	Secundaria	5°16'53.76"N 73°10'9.18"W
2	Calle 5 no 3, esquina	Secundaria	5°17'0.93"N 73°10'12.5"W
3	Salida Rondón	Secundaria	5°17'8.92"N 73°10'17.21"W
4	Plaza de mercado	Secundaria	5°16'53.72"N 73°10'2.98"W
5	Salida Miraflores	Secundaria	5°16'50.93"N 73°10'8.67"W
6	Plaza de toros	Principal	5°16'51.64"N 73°10'19.43"W

Fuente: El autor

- **Localización de los puntos de monitoreo**

Figura 26. Localización de puntos de monitoreo

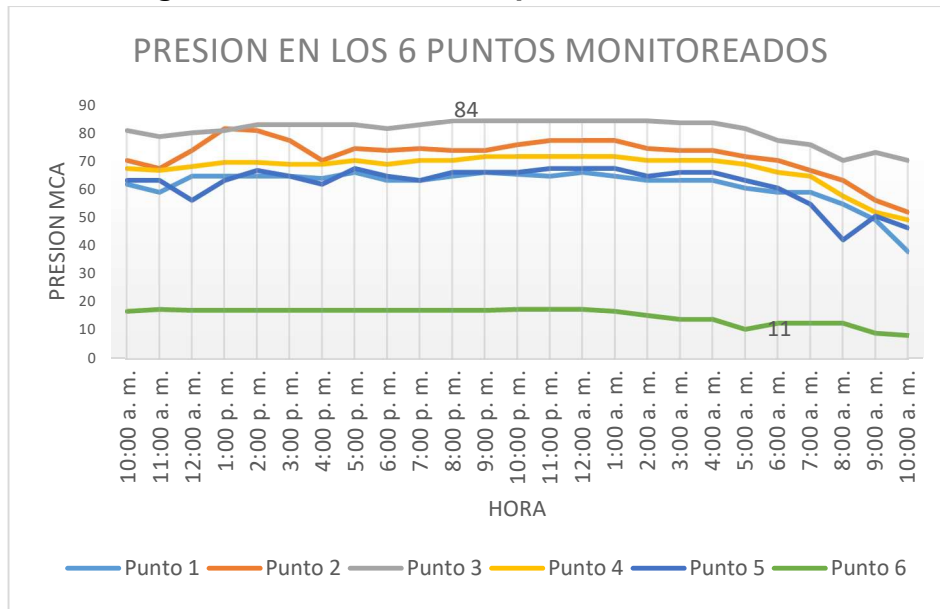


Fuente: El autor

- **Análisis de los puntos de monitoreo**

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de pitometría en los diferentes puntos de monitoreo, registrando los valores de presión a lo largo de la operación del sistema de acueducto.

Figura 27. Presión en los puntos de monitoreo



Fuente: El autor

Punto de mayor presión

El punto de mayor presión registrado durante la prueba a lo largo de las 24 horas fue el punto 3 denominado “salida Rondón” el cual registró una lectura de 84 MCA estando fuera de los rangos permitidos por el reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico RAS.

Los puntos de mayor presión se registraron entre las 8:00pm y las 4:00 am en la mayoría de los puntos monitoreados, generándose un evento pico de presiones elevadas importantes de tener en cuenta.

Punto de menor presión

El punto de menor presión fue el punto número 5 denominado “Salida Miraflores” el cual presentó presiones de 42 MCA registrados en la hora de 8:00 am.

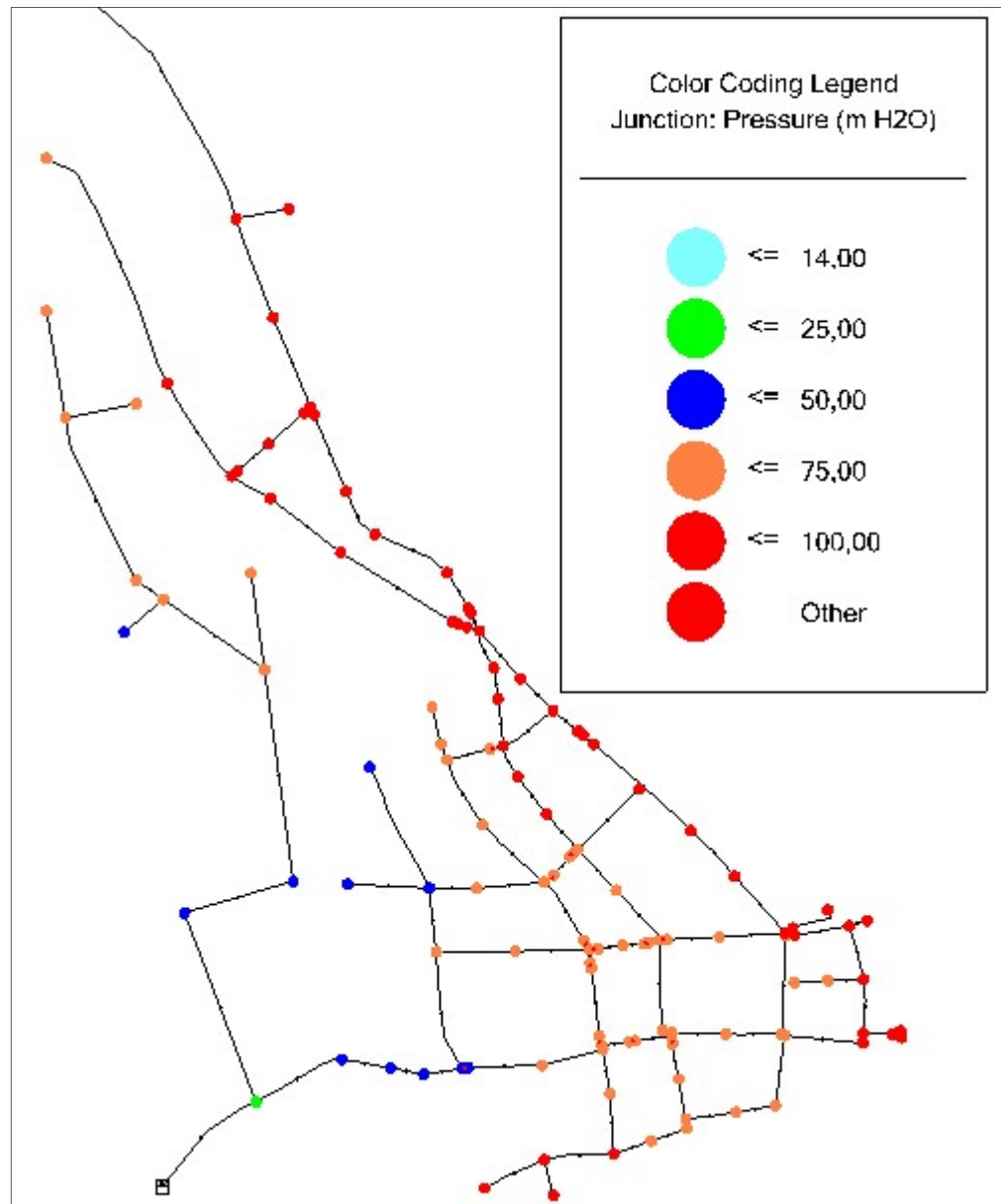
- Factor de investigación.

El factor de investigación para el municipio de Zetaquirá corresponde a 0,92, por tanto, es prioritario iniciar un programa de búsqueda de fugas.

5.2.4.2.3 Modelo hidráulico de la red de distribución

Se presenta a continuación los resultados de la simulación de la red en el software WaterGEMS, en donde se determinó el plano actual de presiones en la red de distribución para el escenario actual de operación del sistema.

Figura 28. Plano de presiones en la hora de máximo consumo.



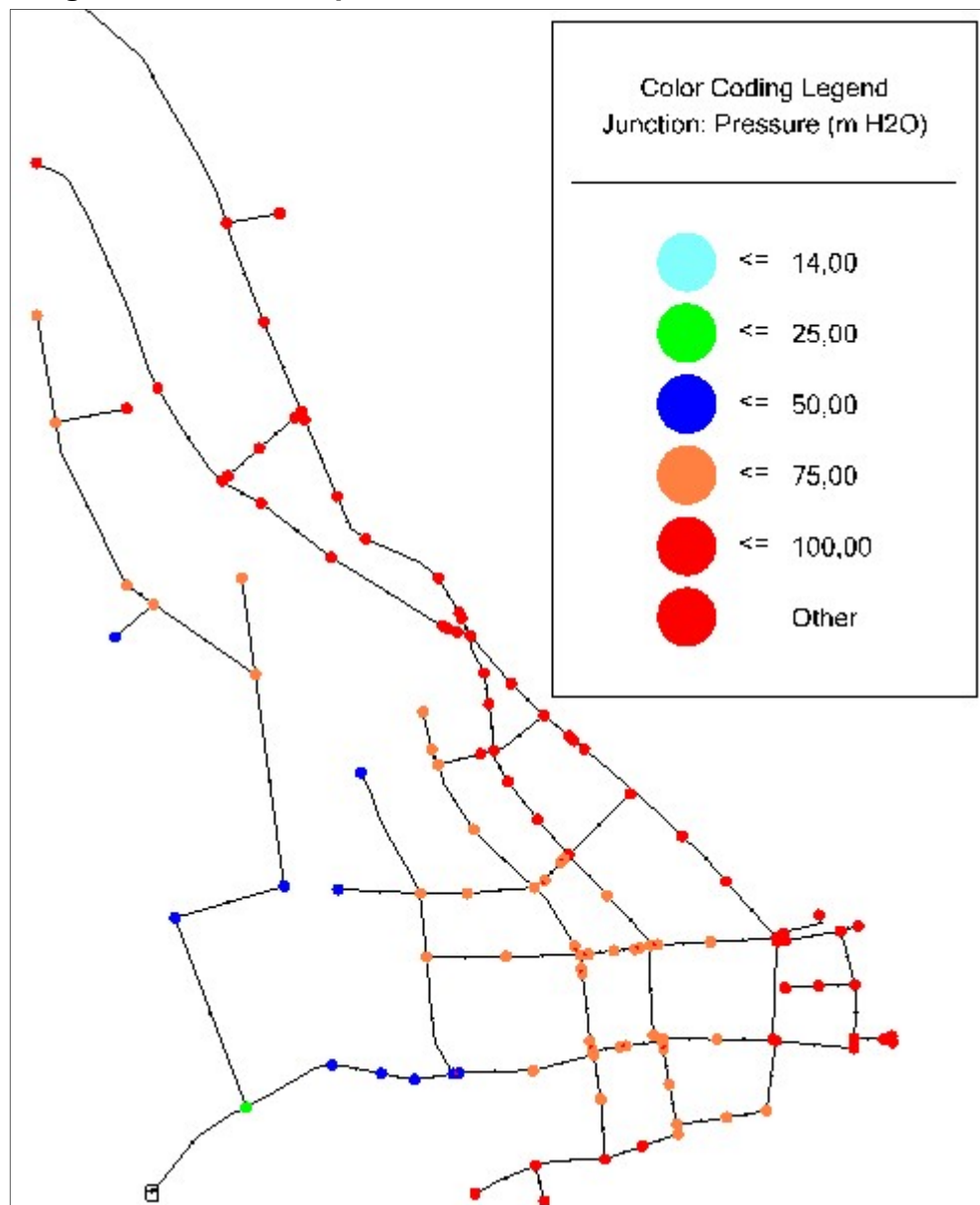
Fuente: El autor

Presión máxima en la red de distribución: 102 m.c.a

Presión mínima en la red de distribución: 15,88 m.c.a

El reporte de la simulación se presenta en el Anexo 5.

Figura 29. Plano de presiones en la hora de mínimo consumo.



Fuente: El autor

Presión máxima en la red de distribución: 104 m.c.a

Presión mínima en la red de distribución: 17,33 m.c.a

El reporte de la simulación se presenta en el Anexo 6.

Figura 32. Análisis de la red

Pregunta	Si	No
1.¿Existen zonas de baja presión en la red ?		X
2.¿Existen zonas de alta presión en la red ?	X	
3.¿Se puede mejorar la distribución reparando o instalando algunas pocas válvulas	X	
4.¿Es necesario ejecutar o actualizar el catastro de redes?		X
5. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de edad?	X	
6. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de material?	X	
7. ¿Existe el personal capacitado para operar la red y hacer el mantenimiento?	X	
8. ¿Está definido el presupuesto para optimizar la red de distribución ?		X

Fuente: El autor

5.2.5 DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL

5.2.5.1 Diagnóstico comercial

5.2.5.1.1 Consumos facturados

Tabla 33. Consumos Facturados

UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ZETAQUIRA						
FORMATO DE-10			CONSUMOS FACTURADOS			
ESTRATOS / USOS	Consumos facturados en los últimos 6 meses a usuarios con medidor funcionando (m3/mes)					
	1	2	3	4	5	6
	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio
Estrato 1	1659	1875	1962	1900	1935	1947
Estrato 2	2444	2621	2667	2596	2712	2701
Estrato 3	316	350	325	348	368	382
Estrato 4	43	46	48	46	47	47
SUBTOTAL	4463	4891	5002	4890	5062	5077
Industrial	152	246	167	162	165	166
Comercial	114	139	118	221	216	248
Oficial	35	37	38	36	34	37
TOTAL	4764	5313	5325	5309	5477	5528

Fuente: El autor

Tabla 34. Análisis consumos facturados

UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ZETAQUIRA						
FORMATO DE-10			CONSUMOS FACTURADOS			
CPM	NUP	CPMU	CFUSM	VFUSM	CFUCMP	VFUCMP
7	8	(7/8)	9	10	11	12
164	1879,5	11,5	0	0	0	0
223	2623,6	11,8	0	0	0	0
30	348,1	11,6	0	0	0	0
4	46,3	11,6	0	0	0	0
421	4897,6	11,6	0	0	0	0
14	176,5	12,6	0	0	0	0
7	176,0	25,1	0	0	0	0
1	36,1	36,1	0	0	0	0
443	5286,2	11,9	0	0	0	0

Fuente: El autor

5.2.6 BALANCE DE AGUAS

Tabla 35. Balance de Aguas

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS ZETAQUIRA			
FORMATO BA-01		BALANCE DE AGUAS	
Variable	Nombre de la variable	Unidad	Valor
V1	Población urbana	Habitantes	1123,0
V2	Número de domicilios(incluye viviendas, establecimientos comerciales, industriales, oficiales e institucionales)	Unidades	443,0
V3	Número de conexiones o usuarios registrados	Unidad	443,0
V4	Número de conexiones con medidor en funcionamiento	Unidad	443,0
V5	Número de conexiones con medidor parado	Unidad	0,0
V6	Número de conexiones sin medidor	Unidad	0,0
V7	Número estimado de conexiones clandestinas	Unidad	0,0
V8	Volumen facturado a usuarios con medidor en funcionamiento	M³/mes	5258,0
V9	Volumen facturado a usuarios con medidor parado	M³/mes	0,0
V10	Volumen facturado a usuarios sin medidor	M³/mes	0,0
V11	Volumen facturado por venta de agua en bloque	M³/mes	0,0
V12	Volumen total facturado	M³/mes	5258,0
V13	Error promedio en los micromedidores	%	5,0
V14	Volumen real de consumo en usuarios con medidor en funcionamiento	M³/mes	5520,9
V15	Consumo real por usuario con medidor en funcionamiento	(M³/mes -usuario)	12,5
V15A	Factor de consumo adicional en usuarios sin medición	Factor	
V16	Consumo real por usuario sin medición	(M³/mes -usuario)	0,0
V17	Volumen de consumo en usuarios con medidor parado	M³/mes	0,0
V18	Volumen de consumo en usuarios sin medición	M³/mes	0,0
V19	Pérdidas por error en micromedición	M³/mes	262,9
V20	Pérdidas por usuarios sin medición	M³/mes	0,0
V21	Pérdidas por usuarios con medidor parado	M³/mes	0,0
V22	Pérdidas por usuarios clandestinos	M³/mes	0,0
V23	Total pérdidas comerciales	M³/mes	262,9
V24	Volumen de agua captado	M³/mes	47952,0

V25	Volumen de agua cruda recibido de otra fuente	M ³ /mes	
V26	Volumen de agua cruda vendido	M ³ /mes	0,0
V27	Volumen de entrada a la planta	M ³ /mes	26003,8
V28	Perdidas en el proceso de captación	M ³ /mes	10974,1
V29	Volumen de consumo interno de la planta o gasto operacional de la planta	M ³ /mes	1300,2
V30	Perdidas por estanqueidad, filtración en válvulas y accesorios en planta	M ³ /mes	0,0
V31	Volumen de salida de la planta	M ³ /mes	20088,0
V32	Perdidas por otras fugas y reboses en la planta	M ³ /mes	4615,6
V33	Volumen de agua tratada comprada a otro sistema	M ³ /mes	0,0
V34A	Volumen producido (suministrado por la ESP)	M ³ /mes	20088,0
V34	Volumen producido (con medición)	M ³ /mes	20088,0
V34B	Pérdidas por error en macromedición	M ³ /mes	0,0
V35	Volumen de entrada a los tanques de almacenamiento	M ³ /mes	20088,0
V36	Volumen de pérdidas por estanqueidad en los tanques de almacenamiento	M ³ /mes	0,0
V37	Volumen de salida de los tanques de almacenamiento.	M ³ /mes	20088,0
V38	Volumen de pérdidas por reboses en tanques	M ³ /mes	0,0
V39	Volumen por venta de agua en bloque	M ³ /mes	0,0
V40	Caudal mínimo nocturno medido	M ³ /mes	7,2
V41	Consumos mínimos nocturnos conocidos	M ³ /mes	0,0
V42	Caudal promedio diario	l/s	7,8
V43	Volumen de consumo operacional (lavado de tanques más purga y lavado de tuberías)	M ³ /mes	0,0
V44	Pérdidas por consumos especiales sin medidor	M ³ /mes	16,7
V45	Pérdidas en el proceso de distribución	M ³ /mes	14567,1
V46	Pérdidas en tanques de almacenamiento	M ³ /mes	0,0
V47	Pérdidas en fugas visibles y no visibles	M ³ /mes	0,0
V48	Pérdidas en operación inadecuada del sistema	M ³ /mes	14287,5
V49	Factor de investigación	Factor	0,9
V50	Pérdidas en el proceso de CAPTACION	%	42,2
V51	Pérdidas en el proceso de TRATAMIENTO	%	17,7
V52	IANC en el proceso de DISTRIBUCION	%	72,5

Fuente: El autor

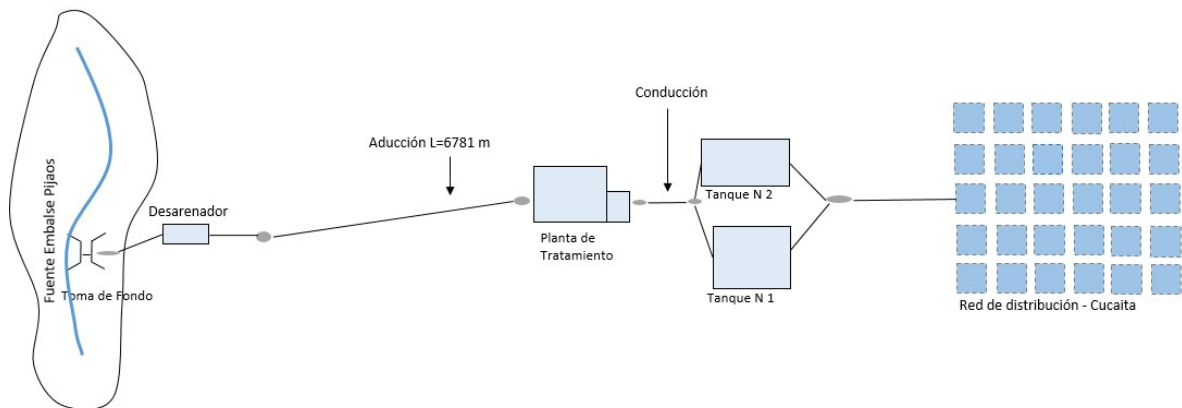
5.3 DIAGNOSTICO TECNICO MUNICIPIO DE CUCAITA

Cucaita es un municipio colombiano ubicado en la provincia centro, en el departamento de Boyacá. Está situado a unos 16 km de la ciudad de Tunja. Cucaita se ubica en la Cordillera Oriental. Su cabecera municipal se encuentra a una altitud aproximada de 2.650 m s. n. m., con una temperatura promedio anual de 14,2 °C. La población urbana del municipio es de 1.942 habitantes siendo catalogado como un municipio de Sexta categoría según la ley 136 de 1994 y como municipio menor según el decreto 421 de 2.000.

5.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

El sistema de acueducto del municipio de Cucaita se compone en general por un sistema de captación, un desarenador, una línea de aducción, una planta de tratamiento, dos tanques de almacenamiento y una red de distribución.

Figura 30. Esquema general del sistema de acueducto de Cucaita



Fuente: El autor

5.3.1.1 FUENTE DE ABASTECIMIENTO EMBALSE PIJAOS

5.3.1.1.1 Bocatoma

La captación se realiza mediante una tubería de fondo, con un diámetro de 6 pulgadas PVC, la cual regula su capacidad con una válvula a la entrada del desarenador Pijaos, siendo eficiente para el funcionamiento del sistema de acueducto, que depende únicamente del estado de nivel del embalse, no presenta colmatación y el estado de funcionamiento es óptimo.

El caudal es regulado mediante esta válvula, la cual se encuentra ubicada en la entrada del desarenador de la vereda Pijaos, no presenta fugas ni daños en su estructura.

Fotografía 37. Embalse Pijaos



Fuente: El autor

5.3.1.1.2 Desarenador

El desarenador está ubicado en la vereda Pijaos, no presenta fugas, y su caudal es regulado mediante sus válvulas de entrada y salida. Funciona de manera eficiente debido a que opera con el caudal que fue diseñado por la consultoría - Consorcio Estudios Hidráulicos Boyacá de 2010; 3,55 l/s según las memorias de cálculo. Haciendo que éste sea eficiente y cumpla con la velocidad de sedimentación.

5.3.1.1.3 Línea de Aducción

La línea de aducción parte de la cota 3.110 teniendo variaciones de diámetros en todo su recorrido que van del orden de 6 a 3 pulgadas en PVC en una longitud de 6.781 metros terminando en la cota 2705. Cuenta con ventosas y válvulas de purga a lo largo de la línea de aducción.

5.3.1.2 Planta de tratamiento de agua potable

La planta de tratamiento del sistema de acueducto urbano se encuentra ubicada en la parte alta del municipio, corresponde a una planta de tipo convencional, diseñada en 1993 y construida en 1995. La planta de tratamiento se compone en general por la caja del macromedidor de entrada, proceso de aireación, mezcla rápida, sedimentación, filtración lenta y desinfección.

5.3.1.2.1 Caja del macromedidor

En la caja de macromedidores contiene el macromedidor de embalse Pijaos, corresponde a un macromedidor volumétrico tipo Woltman de 3 pulgadas de diámetro, el cual se encuentra actualmente en funcionamiento.

Fotografía 38: Macromedidor de entrada a la planta de tratamiento.



Fuente: El autor

El agua proveniente del embalse Pijaos es conducida hacia el primer proceso de tratamiento en la planta de tratamiento correspondiente a la torre de aireación; posteriormente esta agua es recolectada y transportada a un vertedero, donde se dosifica y se realiza el proceso de coagulación agregando sulfato de aluminio tipo A.

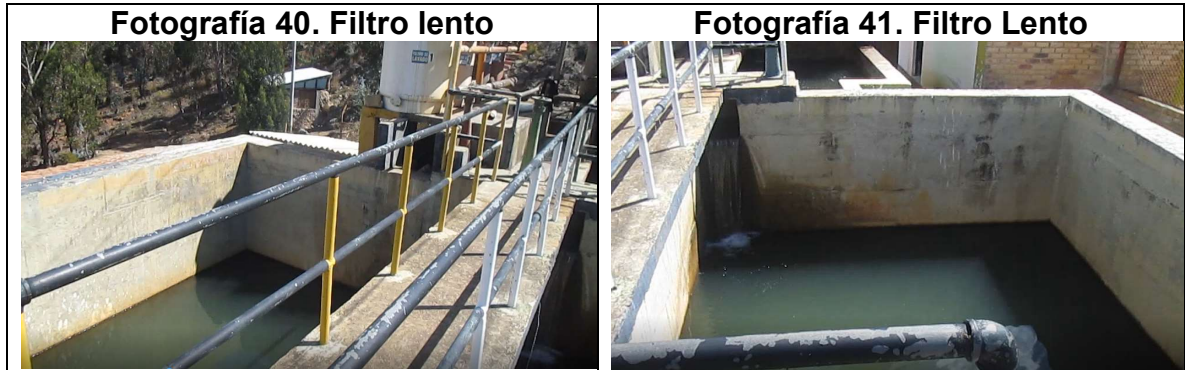
Fotografía 39: Procesos de Tratamiento Potabilización del Agua



Fuente: El autor

Seguidamente se inicia el proceso de floculación el cual consiste en generar una mezcla lenta con el fin de mantener el floc en suspensión para su adecuada formación. Luego el agua es conducida a la cámara de sedimentación, la cual

permite que el agua se clarifique y el floc descienda a las tolvas de almacenamiento de lodos; el agua clarificada es posteriormente transportada a la unidad de filtración donde son retenidos los sólidos en suspensión mediante los medios filtrantes. La desinfección se realiza mediante la dosificación de hipoclorito de sodio en el vertedero de salida de agua tratada.



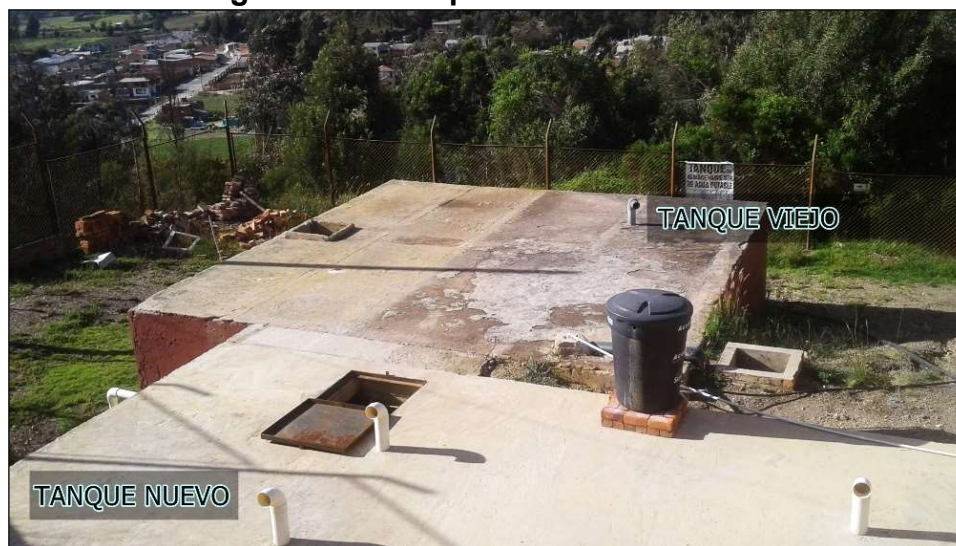
Fuente: El autor

5.3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.3.2.1 Tanque de almacenamiento

El sistema de acueducto del municipio de Cucaita cuenta con dos tanques de almacenamiento, el tanque 1 denominado “tanque viejo” por su fecha de construcción, con capacidad de 82 m³ y el tanque 2 o tanque nuevo con capacidad de 77 m³ los cuales sirven como tanques de compensación que permiten guardar el volumen de agua, para compensar los consumos máximos que hacen los usuarios a ciertas horas del día.

Fotografía 42: Tanques de almacenamiento



Fuente: El autor

Tabla 36: Características Físicas del tanque de Almacenamiento

SERVITEMANANTIALES-MUNICIPIO CUCAITA		
FORMATO DT-09	DIAGNOSTICO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO	
Nombre / Ubicación	Tanque 1	Tanque 2
Nombre del tanque	Tanque Viejo	Tanque Nuevo
Localización	Planta Sector Monserrate	Planta Sector Monserrate
Tipo	Semi-enterrado en concreto	Semi-enterrado en concreto
Dimensiones	Rectangulares	Rectangulares
Alto (m)	2,2	2,5
Ancho (m)	6,2	4
Largo(m)	6,13	8
Capacidad(m ³)	82	77
Nivel máximo	2,16	2,4
Nivel mínimo	4	4
Numero de fisuras	Ninguna	Ninguna
Numero de fugas	Ninguna	Ninguna
Barrios o zonas que abastece	Todos los barrios o zonas del casco urbano del Municipio. Los dos tanques se encuentran interconectados sin asignación específica de zonas de servicio. Tienen tubo de reboce.	

Fuente: El Autor

La entrada al tanque viejo se realiza mediante tubería en PVC con diámetro de 4 pulgadas, y el tanque nuevo es de 3 pulgadas en PVC; posterior a esto, la salida de ambas entradas se realiza mediante una tubería en PVC de 3 pulgadas la cuales conectan a una válvula y a un macromedidor.

5.3.2.1.1 Macromedidor de Salida

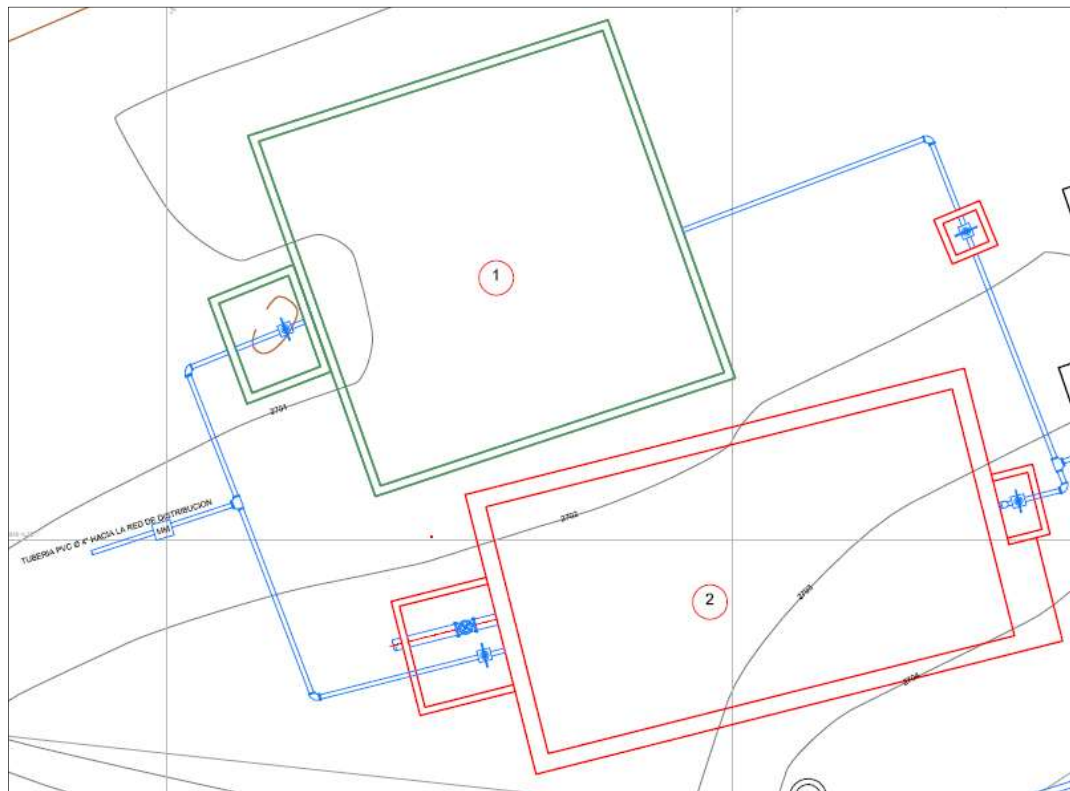
La tubería procedente de los tanques de almacenamiento, cuenta con un macromedidor Woltman de 3 pulgadas el cual se encuentra en funcionamiento, a partir de este punto inicia la red de distribución del casco urbano.

Fotografía 43. Macromedidor de salida.



Fuente: El autor

Figura 31. Plano tanque de almacenamiento del sistema



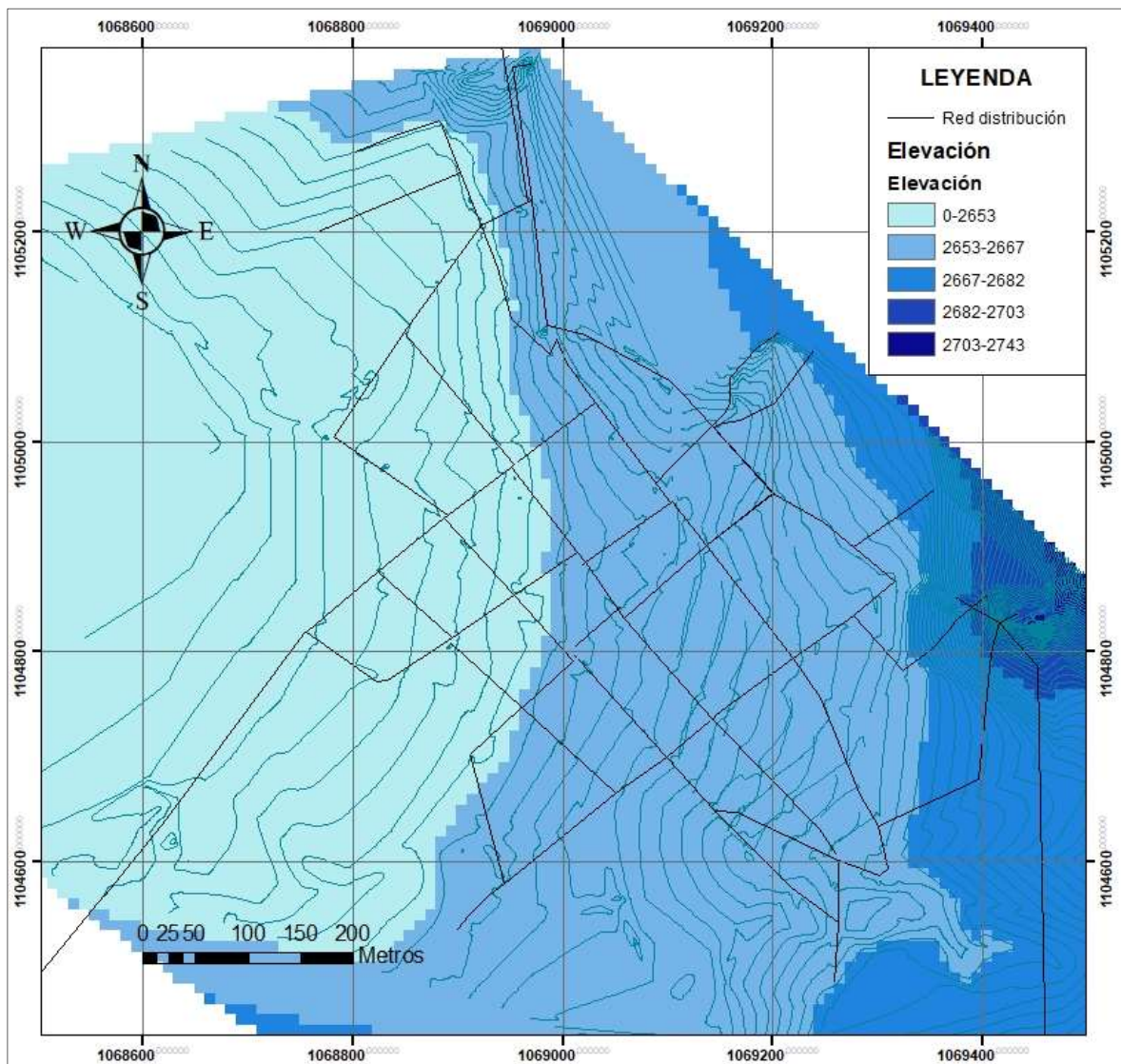
Fuente: El Autor

5.3.2.1 Red de Distribución del Sistema de Acueducto

5.3.2.1.1 Topografía de la red de Cucaita

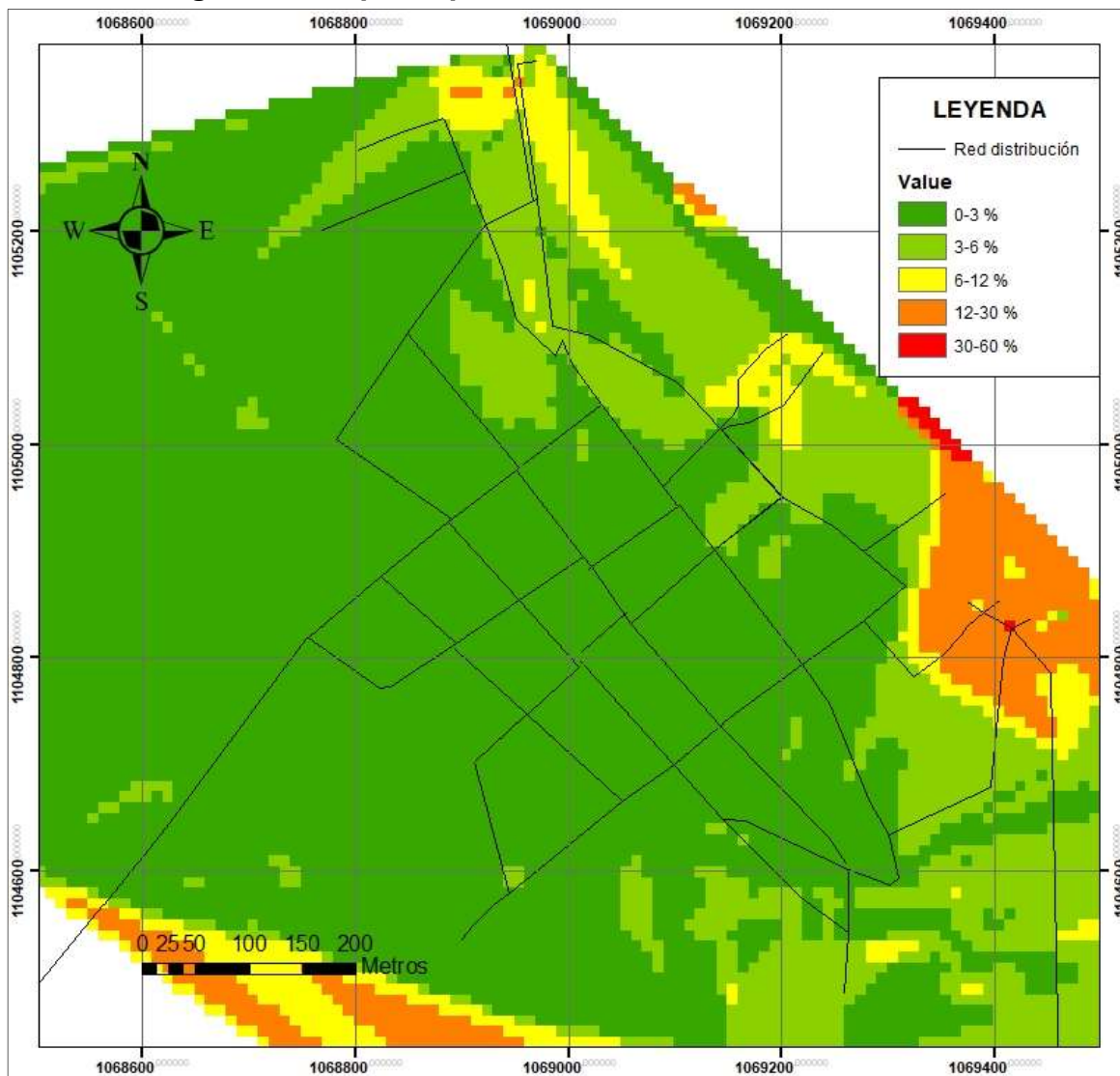
El plano de elevación y pendientes del municipio de Cucaita, permite visibilizar las diferentes regiones del casco urbano, aproximadamente la un 90 % de la red de distribución posee una pendiente entre el 3 y el 6 %.

Figura 32. Topografía de la red



Fuente: El autor

Figura 33. Mapa de pendientes de la red de distribución



Fuente: El autor

La salida del tanque de almacenamiento se encuentra en la cota 2698 msnm, la cota del nodo de la red con menor elevación corresponde a 2648 msnm, por tanto, la presión estática en la hora de menor consumo en el punto crítico corresponderá a aproximadamente 50 m.c.a.

5.3.2.1.2 Topología de la red

La red de distribución cuenta con una tubería principal o primaria en tres pulgadas, la red secundaria posee tubería desde los 3 hasta $\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro.

En el Anexo 7. se presenta el plano de la red de distribución de agua potable.

Tabla 37: Diagnóstico rápido de la red

SERVITEMANANTIALES-MUNICIPIO DE CUCAITA								
FORMATO DT-11			DIAGNÓSTICO RÁPIDO DE LA RED					
Red	Diámetro	Material	Longitud (m)	N°	válvulas		Hidrantes	
					Tipo	Estado	N°	Estado
Primaria	3"	PVC	1388,72	2	compuerta	2 B		
Secundaria	3"	PVC	2778	10	compuerta	9 B; 1 M	1	B
	2"	PVC	249					
	3/4 "	PVC	241,7					
Totales			4657,42	12			1	

Fuente: El autor

5.3.3 DIAGNÓSTICO DE PERDIDAS DEL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

5.3.3.1 Fuente de abastecimiento embalse Pijaos

5.3.3.1.1 Bocatoma

Tabla 38. Diagnóstico en la Captación

SERVIMANANTIALES-MUNICIPIO CUCAITA				
FORMATO DT-03		DIAGNOSTICO DE LA CAPTACION		
Tipo de captación	Nombre / ubicación	Caudal de operación(L/s)	Estado y funcionamiento	Mantenimiento
Toma de fondo	Pijaos / reserva forestal el malmo	3,7	Bueno	Bueno

Fuente: El autor

El sistema de captación Pijaos funciona en óptimas condiciones, no se encontraron fallas técnicas que representen pérdidas en este proceso.

5.3.3.1.2 Desarenador

Tabla 39. Diagnóstico del desarenador

SERVIMANANTIALES-MUNICIPIO CUCAITA					
FORMATO DT-04			DIAGNOSTICO DEL DESARENADOR		
Nombre / Ubicación	Caudal de operación (L/s)	Estado de acceso	Estado de colmatación	Estado de la estructura	Mantenimiento y limpieza
Desarenador Pijaos	3,66	Bueno	Bajo	Bueno	Bueno

Fuente: El autor

5.3.3.1.3 Línea de aducción

Tabla 40. Diagnóstico de la aducción

SERVITEMANANTIALES- MUNICIPIO DE CUCAITA						
FORMATO DT-05			DIAGNÓSTICO DE ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN			
Tramo	Tipo de material	Sección / diámetro	Longitud (m)	Capacidad (L/s)	Accesorios	Observaciones
Aducción (Captación-Planta)	PVC	6" a 3"	6.785	3,6	Nueve ventosas para admisión y expulsión de aire. Cuatro válvulas para purga de sedimentos. Tres codos en 4" y dos codos en 3".	La capacidad actual de las tuberías se puede mejorar con la instalación de más ventosas que expulsan al aire presente en el interior de las tuberías.

Fuente: El autor

5.3.3.2 Planta de tratamiento de agua potable.

Tabla 41. Diagnóstico global de la planta de tratamiento

SERVITEMANANTIALES-MUNICIPIO DE CUCAITA			
FORMATO DT-06		DIAGNOSTICO GLOBAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	
Nombre/ubicación	Proceso de tratamiento	Estado de la estructura	Operación y mantenimiento
Planta de tratamiento, Sector Monserrate	* Aireación, cuatro bandejas.	Regular	Aceptable. Mantenimiento mensual de las distintas unidades
	* Filtración rápida con lecho de piedra caliza. Cuatro unidades.	Regular	
	* Desinfección, con aplicación de hipoclorito de Calcio.	Regular	

Fuente: El autor

5.3.3.2.1 Caudal de operación de la planta de tratamiento de agua potable

Tabla 42. Diagnóstico de capacidad de la planta

SERVITEMANANTIALES-MUNICIPIO DE CUCAITA					
FORMATO DT-07			DIAGNOSTICO DE CAPACIDAD DE LA PLANTA		
Nombre/ubicación	Und	Caudal		Pérdidas de la planta (m³/mes)	Consumo interno de la planta(m³/mes)
		entrada	Salida		
Planta de tratamiento, Sector Monserrate	l/s	3,32	3,09	516,16	80
	m3/mes	8605,44	8009,28		

Fuente: El autor

5.3.4 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.3.4.1 Tanque de almacenamiento

El proceso de almacenamiento, conformado por los dos tanques, se opera diariamente, permitiendo el suministro de agua a la red desde las 06:00 am hasta las 06:00 pm, generando un racionamiento del líquido, desde las 06:00 pm hasta las 06:00 am, se genera el proceso de llenado de los tanques.

Por tal motivo no hay existencia de caudales nocturnos y por tanto no es posible calcular el factor de investigación.

Tabla 43. Diagnóstico de caudales y estanquidad en el tanque

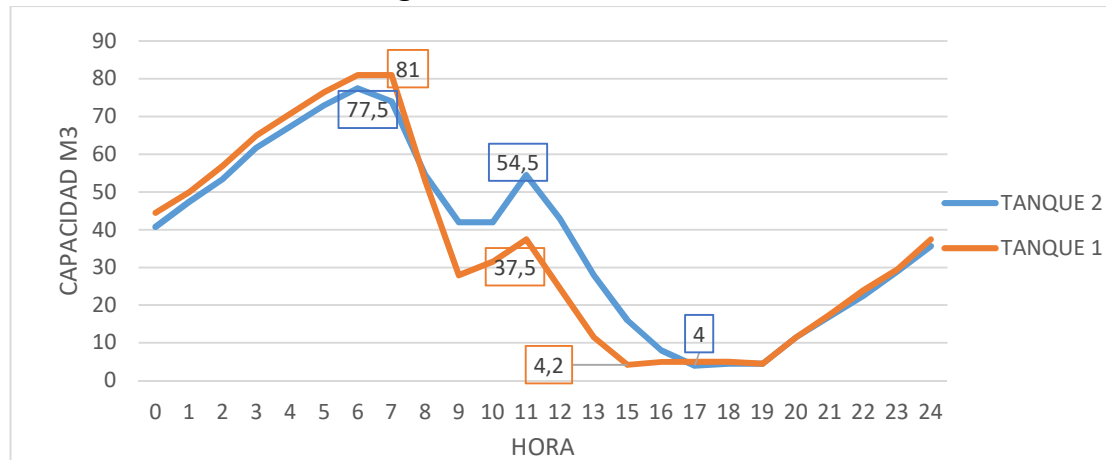
SERVITEMANANTIALES-MUNICIPIO DE CUCAITA			
DT-10		DIAGNOSTICO DE CAUDALES Y ESTANQUEIDAD EN EL TANQUE	
Tanque N°	Caudal (L/s)		Pérdidas por estanquidad (m³/mes)
	De entrada	De salida	
1(viejo)	3,1	3,1	0
2(nuevo)			0
TOTAL	3,1	3,1	0

Fuente: El autor

5.3.4.1.1 Curva de masas en el tanque de almacenamiento

La curva de variación del volumen de agua en el tanque de almacenamiento, permite establecer para el día del ensayo, un valor máximo de almacenamiento a las 06:00 horas del día, debido a que en ese instante se inicia el proceso de suministro del agua, de la misma manera se establece un valor mínimo de almacenamiento entre las 02:00 pm hasta las 06:00 pm.

Figura 34 curva de masas



Fuente: El autor

La descompensación de los tanques de almacenamiento, logra establecer dos horas de máximo consumo, correspondientes a las 07:00 horas del día y a las 11:00 horas del día.

5.3.4.2 Red de distribución del sistema de acueducto

5.3.4.2.1 Ensayo de Pitometría

- Continuidad del servicio

El servicio de acueducto de Cucaita, brinda un suministro de agua durante 12 horas diarias, correspondientes a las horas desde las 06:00 am hasta las 06:00 pm.

- Análisis de resultados en el tanque de almacenamiento

Tabla 44. Comportamiento del agua en el tanque de almacenamiento 1

HORA	H lámina de agua(m)	Volumen (m³)	DT (seg)	Hora de Aforo	Caudal Macromedidor
1	2,16	74		9:29 a. m.	
2	1,9	57	3600	10:01 a. m.	14,722
3	1,1	34,5	3600	10:58 a. m.	16,944
4	0,6	15,5	3600	12:04 p. m.	14,167
5	0,5	13	3000	12:48 p. m.	6,000
6	0,2	4	4560	2:16 p. m.	5,482
7	0,2	4	3420	2:59 p.m.	2,924
8	0,2	4	3600	4:00 p.m.	3,750
9	0,2	4	3600	5:00 p.m.	3,194
10	0,2	4	3600	6:00 p.m.	2,222

Fuente: El autor

Tabla 45. Comportamiento del agua en el tanque de almacenamiento 2

HORA	H lámina de agua(m)	Volumen (m³)	DT (seg)	Hora de Aforo	Caudal Macromedidor
1	2,4	79		9:29 a. m.	
2	1,3	53,5	3600	10:01 a. m.	14,722
3	0,8	23,5	3600	10:58 a. m.	16,944
4	0,2	4,5	3600	12:04 p. m.	14,167
5	0,2	4,5	3000	12:48 p. m.	6,000
6	0,2	4,5	4560	2:16 p. m.	5,482
7	0,2	4,5	3420	2:59 p.m.	2,924
8	0,2	4,5	3600	4:00 p.m.	3,750
9	0,2	4,5	3600	5:00 p.m.	3,194
10	0,2	4,5	3600	6:00 p.m.	2,222

Fuente: El autor

- Puntos monitoreados**

A continuación, se presenta la tabla resumen de los puntos establecidos para el monitoreo del ensayo de pitometría.

Tabla 46. Puntos Monitoreados

N°	PUNTO MONITOREADO	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1	Vía sora	5°32'52.5"N	73°27'20.9"W
2	Parque 2	5°32'42.2"N	73°27'19.5"W
3	Puente virgen	5°32'32.1"N	73°27'29.1"W
4	Puente salida principal	5°32'29.7"N	73°27'19.1"W
5	Lote encerrado	5°32'31.7"N	73°27'07.3"W
6	Parque principal	5°32'40.6"N	73°27'12.4"W

Fuente: El autor

- Localización de los puntos de monitoreo**

Figura 35. Localización de puntos de monitoreo

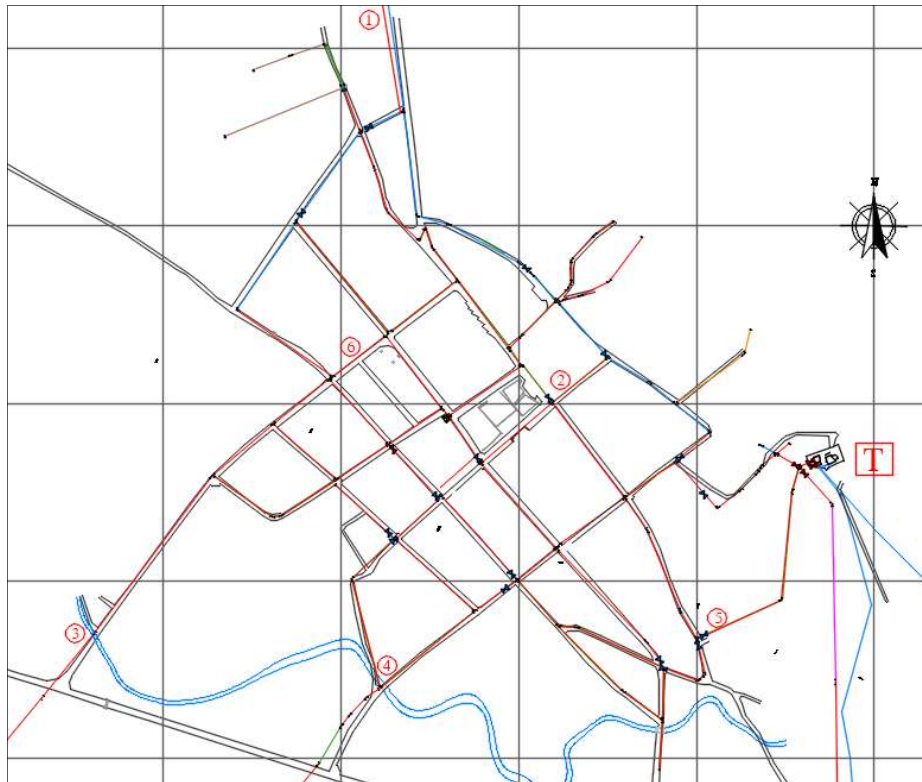
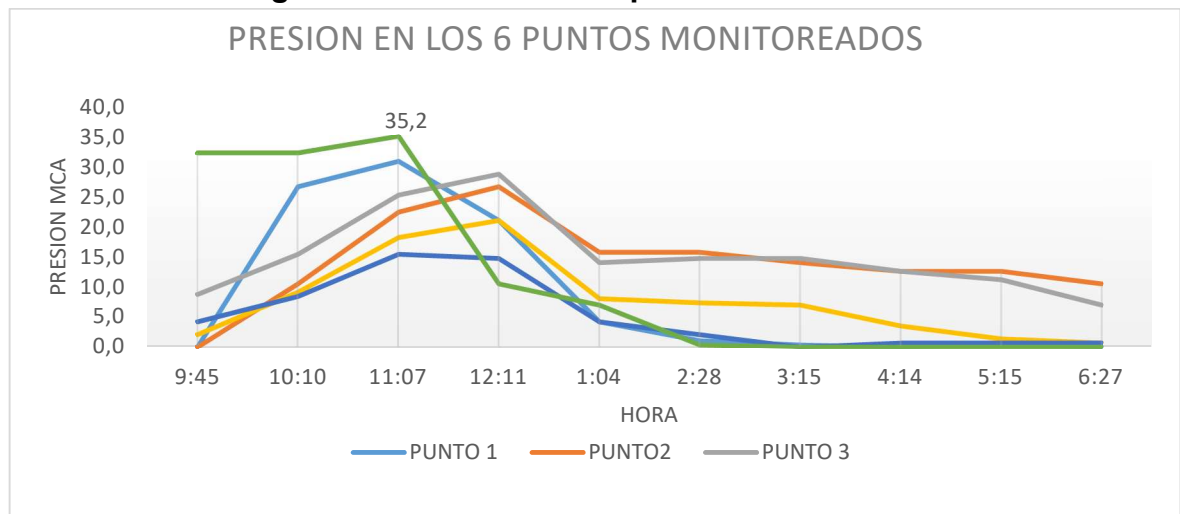


Figura: El autor

- **Análisis de los puntos de monitoreo**

A continuación, se muestran los resultados de la prueba de pitometría registrados en la red de distribución del sistema de acueducto.

Figura 36. Presión en los puntos de monitoreo



Fuente: El autor

- **Punto de mayor presión.**

El punto 6, “parque principal” presento la mayor presión a lo largo de la prueba realizada con un registro de 35,2 mca.

- **Punto de menor presión.**

El ensayo de pitometría se realizó evaluando las condiciones reales del funcionamiento del acueducto, por ende, el fontanero cerro las válvulas a las 6:00 pm y se registraron presiones iguales a 0 MCA en el punto 1,3,4,5,6, de igual forma es importante ver que el punto que tuvo el último registro de presión, fue el punto 2 “Parque 2”, siendo así el punto más beneficiado en continuidad del servicio.

Tabla 47. Análisis de la red

Pregunta	Si	No
1. ¿Existen zonas de baja presión en la red ?		X
2. ¿Existen zonas de alta presión en la red ?		X
3. ¿Se puede mejorar la distribución reparando o instalando algunas pocas válvulas	X	
4. ¿Es necesario ejecutar o actualizar el catastro de redes?		X
5. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de edad?		X
6. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de material?		X
7. ¿Existe el personal capacitado para operar la red y hacer el mantenimiento?	X	
8. ¿Está definido el presupuesto para optimizar la red de distribución ?		X

Fuente: El autor

5.3.5 DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL

5.3.5.1 DIAGNÓSTICO COMERCIAL

5.3.5.1.1 Consumos facturados

Tabla 48. Consumos facturados

SERVIMANANTIALES CUCAITA A.P.C						
FORMATO DE -10			CONSUMOS FACTURADOS			
ESTRATOS / USOS	Consumos facturados en los últimos 6 meses a usuarios con medidor funcionando (m3/mes)					
	1	2	3	4	5	6
	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio
Estrato 1	1466	1695	1446	2051	2130	2173
Estrato 2	1587	1909	1838	2264	2281	2317
Estrato 3	41	8	7	17	24	33
Estrato 4	19	23	14	40	36	46
SUBTOTAL	3113	3635	3305	4372	4471	4569
Oficial	135	98	87	144	133	153
TOTAL	3248	3733	3392	4516	4606	4722

Fuente: El autor

Tabla 49. Consumos facturados

SERVIMANANTIALES CUCAITA A.P.C						
FORMATO DE -10			CONSUMOS FACTURADOS			
CPM	NUP	CPMU	CFUSM	VFUSM	CFUCMP	VFUCMP
7	8	(7/8)	9	10	11	12
327	1827	5,59	0	0	0	0
284	2033	7,16	0	0	0	0
7	22	3,10	0	0	0	0
11	30	2,7	0	0	0	0
629	3911	6,22	0	0	0	0
22	125	5,68	0	0	0	0
651	4036	6,2	0	0	0	0

Fuente: El autor

En el análisis de consumos de los usuarios, se logró establecer para el estrato 1 el CPMU, (consumo promedio mensual por usuario), con un valor de 5,59 m3/mes adoptando usuarios con tres habitantes y por tanto obteniendo una dotación de consumo de 62 l/hab*día. Dotaciones muy por debajo de de 120 l/han*día que corresponde a las máximas enmarcadas en la normatividad colombiana y que no es equivalente con los consumos generados por otros usuarios en las mismas condiciones.

5.3.6 BALANCE DE AGUAS

Tabla 50 Balance De Aguas

AGUAS DE- MUNICIPIO CUCAITA			
FORMATO BA-01		BALANCE DE AGUAS	
Variable	Nombre de la variable	Unidad	Valor
V1	Población Urbana	Habitantes	1941
V2	Número de domicilios(incluye viviendas, establecimientos comerciales, industriales, oficiales e institucionales)	Unidades	651
V3	Número de conexiones o usuarios registrados	Unidad	651
V4	Número de conexiones con medidor en funcionamiento	Unidad	651
V5	Número de conexiones con medidor parado	Unidad	0
V6	Número de conexiones sin medidor	Unidad	0
V7	Número estimado de conexiones clandestinas	Unidad	0
V8	Volumen facturado a usuarios con medidor en funcionamiento	M³/mes	4722
V9	Volumen facturado a usuarios con medidor parado	M³/mes	0
V10	Volumen facturado a usuarios sin medidor	M³/mes	0
V11	Volumen facturado por venta de agua en bloque	M³/mes	0
V12	Volumen total facturado	M³/mes	4722
V13	Error promedio en los micromedidores	%	5
V14	Volumen real de consumo en usuarios con medidor en funcionamiento	M³/mes	4958,1
V15	Consumo real por usuario con medidor en funcionamiento	(M³/mes - usuario)	7,6
V15A	Factor de consumo adicional en usuarios sin medición	Factor	
V16	Consumo real por usuario sin medición	(M³/mes - usuario)	0
V17	Volumen de consumo en usuarios con medidor parado	M³/mes	0
V18	Volumen de consumo en usuarios sin medición	M³/mes	0
V19	Pérdidas por error en micromedición	M³/mes	236,1
V20	Pérdidas por usuarios sin medición	M³/mes	0
V21	Pérdidas por usuarios con medidor parado	M³/mes	0
V22	Pérdidas por usuarios clandestinos	M³/mes	0
V23	Total pérdidas comerciales	M³/mes	236,1
V24	Volumen de agua captado	M³/mes	9525

V25	Volumen de agua cruda recibido de otra fuente	M ³ /mes	0
V26	Volumen de agua cruda vendido	M ³ /mes	0
V27	Volumen de entrada a la planta	M ³ /mes	8605,4
V28	Perdidas en el proceso de captación	M ³ /mes	919,6
V29	Volumen de consumo interno de la planta o gasto operacional de la planta	M ³ /mes	80
V30	Perdidas por estanqueidad, filtración en válvulas y accesorios en planta	M ³ /mes	482
V31	Volumen de salida de la planta	M ³ /mes	8009
V32	Perdidas por otras fugas y reboses en la planta	M ³ /mes	34,4
V33	Volumen de agua tratada comprada a otro sistema	M ³ /mes	0
V34A	Volumen producido (suministrado por la ESP)	M ³ /mes	8009
V34	Volumen producido (con medición)	M ³ /mes	8009
V34B	Pérdidas por error en macromedición	M ³ /mes	0
V35	Volumen de entrada a los tanques de almacenamiento	M ³ /mes	8009
V36	Volumen de pérdidas por estanqueidad en los tanques de almacenamiento	M ³ /mes	0
V37	Volumen de salida de los tanques de almacenamiento.	M ³ /mes	8009
V38	Volumen de pérdidas por reboses en tanques	M ³ /mes	0
V39	Volumen por venta de agua en bloque	M ³ /mes	0
V40	Caudal mínimo nocturno medido	M ³ /mes	N/A
V41	Consumos mínimos nocturnos conocidos	M ³ /mes	N/A
V42	Caudal promedio diario	M ³ /mes	3,09
V43	Volumen de consumo operacional (lavado de tanques más purga y lavado de tuberías)	M ³ /mes	0
V44	Pérdidas por consumos especiales sin medidor(Riego de parques bomberos fuentes públicas)	M ³ /mes	0
V45	Pérdidas en el proceso de distribución	M ³ /mes	3287
V46	Pérdidas en tanques de almacenamiento	M ³ /mes	0
V47	Pérdidas en fugas visibles y no visibles	M ³ /mes	N/A
V48	Pérdidas en operación inadecuada del sistema	M ³ /mes	3050,9
V49	Factor de investigación	Factor	N/A
V50	Pérdidas en el proceso de CAPTACION	%	10,7
V51	Pérdidas en el proceso de TRATAMIENTO	%	6,0
V52	IANC en el proceso de DISTRIBUCION	%	41,0

Fuente: El autor

5.4 DIAGNOSTICO TECNICO MUNICIPIO DE SAMACÁ

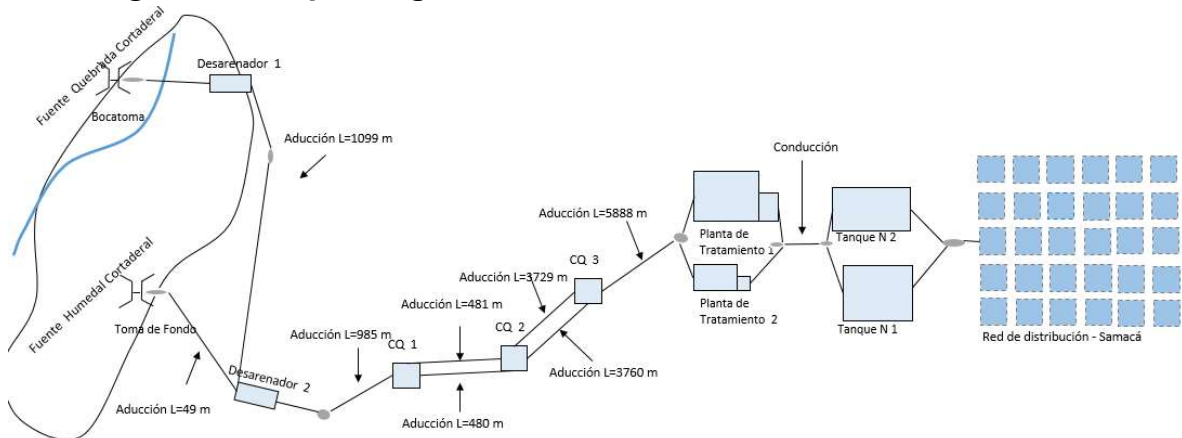
El municipio de Samacá está ubicado en la provincia Centro, del Departamento de Boyacá, está situado a unos 30 km de la ciudad de Tunja. En cuanto a su población, es el octavo municipio más poblado del departamento. El municipio limita al norte con Sáchica y Sora, al sur con Ventaquemada, al oriente con Tunja, Cucaita y al occidente con Ráquira.

5.4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

El sistema de acueducto del municipio de Samacá cuenta con 4 fuentes de abastecimiento 3 de ellas son fuentes superficiales, denominadas actualmente como; quebrada cortaderal, humedal cortaderal, y rio teatinos, la cuarta corresponde a un pozo profundo denominado santa Isabel. Durante el tiempo de estudio solamente la fuente Quebrada Cortaderal y Humedal Cortaderal, realizaron aporte de caudal al desarenador y en general de esta manera opera el sistema de acueducto la mayor parte del año.

Cuenta adicionalmente con un desarenador de flujo horizontal, una línea de aducción, dos plantas de tratamiento de agua potable y una red de distribución.

Figura 37. Esquema general del sistema de acueducto de Samacá



Fuente: El autor

5.4.1.1 Fuente de abastecimiento “Quebrada Cortaderal”

5.4.1.1.1 Bocatoma

El caudal de la quebrada Cortaderal, se capta mediante una bocatoma de fondo ubicada a una altura de 3087 msnm, la cual posee una cámara de derivación de 1,02 x 0,68 y 2,23 m de profundidad, el caudal de salida de la cámara de derivación se conduce mediante un canal hasta el desarenador Cortaderal denominado 1.

5.4.1.2 Fuente de abastecimiento “Humedal Cortaderal”

El caudal captado por el humedal Cortaderal, se realiza mediante una toma de fondo, en donde el caudal derivado, se transporta por una tubería en PVC de 6 pulgadas hasta el desarenador Teatinos, denominado desarenador 2.

5.4.1.2.1 Desarenador

El sistema de desarenación se compone por dos desarenadores de flujo horizontal, el desarenador 1 se denomina, Cortaderal y el desarenador 2, Teatinos.

El desarenador 1, se encuentra ubicado a 22 metros de la bocatoma de fondo y a una elevación de 3085 msnm, el caudal proveniente de la bocatoma, llega a una cámara de entrada de dimensiones 1,58 m de longitud por 1,58 m de ancho, las dimensiones del desarenador son 9,71 m de largo x 3,49 m de ancho y una profundidad de 1,76 m.

El desarenador 2, se encuentra ubicado cerca del río Teatinos a una elevación de 2992 msnm. El desarenador cuenta con dos líneas de entrada, la primera corresponde a la línea proveniente del desarenador 1 ubicado a 1099 m de distancia y la segunda línea de entrada proviene del Humedal Cortaderal ubicado a 49,17 metros.

Fotografía 44. Desarenador



Fuente: El autor

5.4.1.2.2 Línea de aducción

Se ubica en la vereda Pataguy del municipio, inicia en el desarenador 1 y finaliza en la planta de tratamiento.

Tabla 51. Línea de aducción

Abscisa	Tramo	Longitud (metros)	Diámetro (pulg.)	Cota inicial	Cota final	Estructura de salida	Estructura de llegada
1099,63	1	1099,63	3"	3.085,82	2.992,18	Desarenador 1	Desarenador 2
		1099,63	3"	3.085,82	2.992,18	Desarenador 1	Desarenador 2
2084,89	2	985,26	10"	2.991,90	2.985,92	Desarenador 2	CQ1
2566,57	3	481,68	8"	2985,91	2975,39	Cámara de Quiebre 1	CQ2
		480,77	6"	2983,32	2975,05		
6326,62	4	3729,14	6"	2975,39	2942,95	Cámara de quiebre 2	CQ3
		3760,05	6"	2975,05	2944,62		
12214,97	5	5888,35	6" y 4"	2943,02	2708,45	Cámara de Quiebre 3	PTAP

Fuente: Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado - Samacá

5.4.1.3 Planta de tratamiento de agua potable

El sistema de acueducto urbano del Municipio de Samacá se encuentra ubicado en la parte alta a las afueras del municipio a una altura de 2706 msnm, cuenta con dos plantas de tratamiento compactas y un sistema de retro lavado.

5.4.1.3.1 Planta de tratamiento 1

Corresponde a una planta de tratamiento compacta, que incluye procesos de coagulación, floculación, filtración y desinfección.

5.4.1.3.2 Planta de tratamiento 2

Corresponde a una planta de tratamiento compacta tipo Unipack, que incluye los procesos de coagulación, floculación, filtración y desinfección.

Fotografía 45. Planta de Tratamiento compacta 2



Fotografía 46. Aforo caudal de entrada



Fuente: El autor

5.4.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.4.2.1 Tanque de almacenamiento

El sistema de almacenamiento, se encuentra integrado por dos tanques de almacenamiento y un sistema de medición del caudal de salida de los tanques de almacenamiento hacia la red de distribución.



Fuente: El autor

A continuación, se presenta las características físicas de los tanques de almacenamiento.

Tabla 52. Diagnóstico de los tanques de almacenamiento

UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS SAMACÁ		
FORMATO DT-09	DIAGNÓSTICO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO	
Nombre / Ubicación	Tanque 1	Tanque 2
Localización	Barrio Monserrate dentro de las instalaciones de la PTAP	Barrio Monserrate dentro de las instalaciones de la PTAP
Tipo	Semi-enterrado	Semi-enterrado
Dimensiones	Rectangular	Rectangular
Alto (m)	3,6	3,4
Ancho (m)	10	10
Largo(m)	19	17
Capacidad(m ³)	646	561
Nivel máximo	3,4	3,3
Nivel mínimo	0,2	0,2
Número de fisuras	Ninguna	Ninguna
Número de fugas	Ninguna	Ninguna
Barrios o zonas que abastece	Los dos tanques se encuentran interconectados y surten las seis redes de distribución que se desprenden de estos.	

Fuente: El autor

5.4.2.1.1 Sistema de macromedición

Actualmente el sistema de medición se encuentra junto a la planta de tratamiento y se compone de cinco macromedidores volumétricos tipo Wolmant, los cuales se encuentran en funcionamiento y registran el caudal de salida de cada sector hidráulico de la red.



Fuente: El autor

En tubería principal de 160 mm en material PEAD correspondiente al sector hidráulico del Centro, se ubica una válvula de compuerta elástica en hierro fundido de 6 pulgadas, para el control del flujo, esta es operada diariamente, con el fin de obstruir en un porcentaje el paso del flujo y así controlar en cierta forma las presiones aguas abajo en la noche.

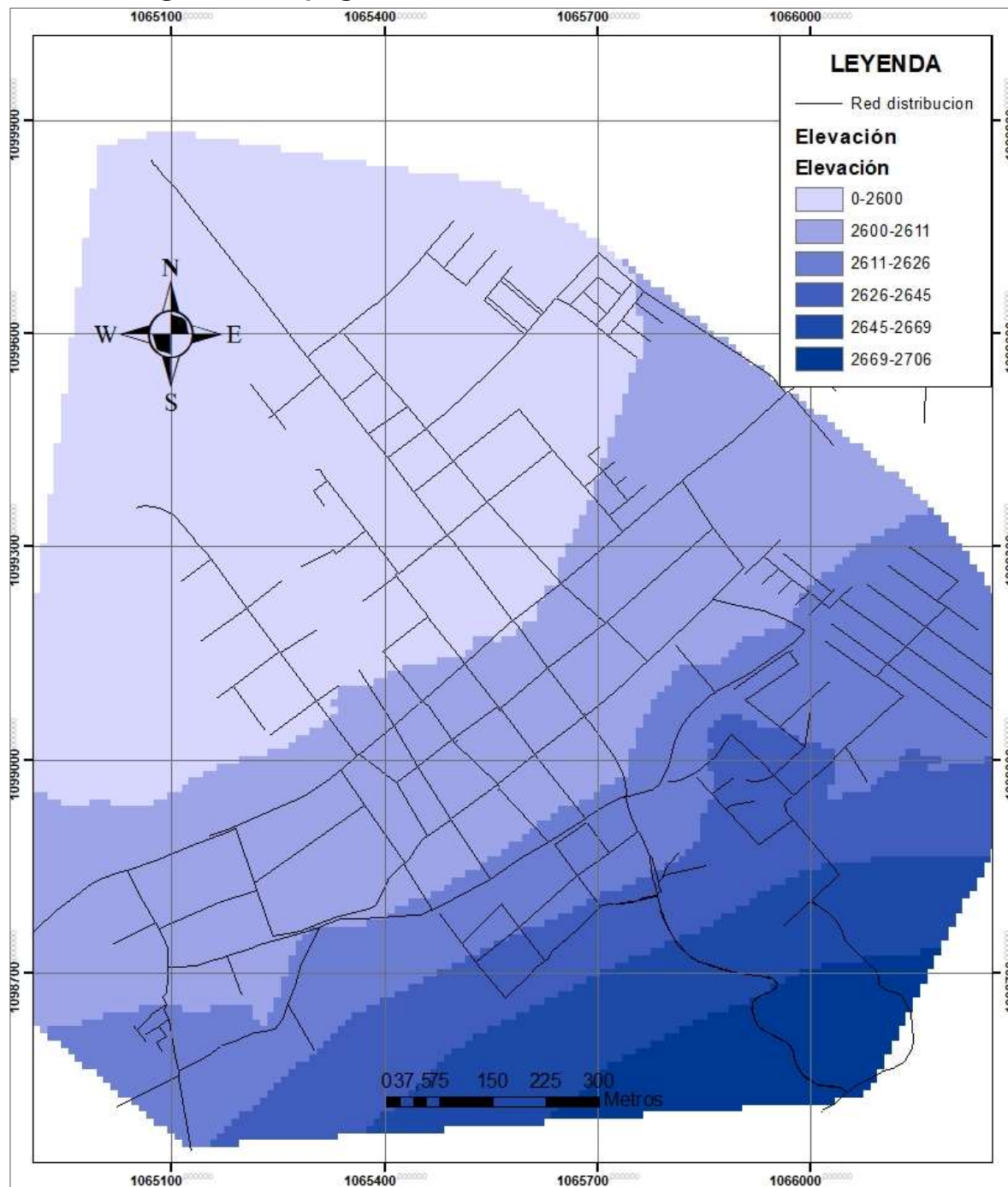
La regulación en la válvula de control del flujo se realiza a las 05:00 am permitiendo que la válvula opere únicamente con $\frac{1}{2}$ vuelta de las 13 permitidas por la válvula, que corresponde a un 3% de apertura y a las 08:00 pm operando la válvula con 4 vueltas de 13 permitidas, que corresponde al 30 % de apertura.

5.4.2.2 Red de distribución del sistema de acueducto

5.4.2.2.1 Topografía de la red

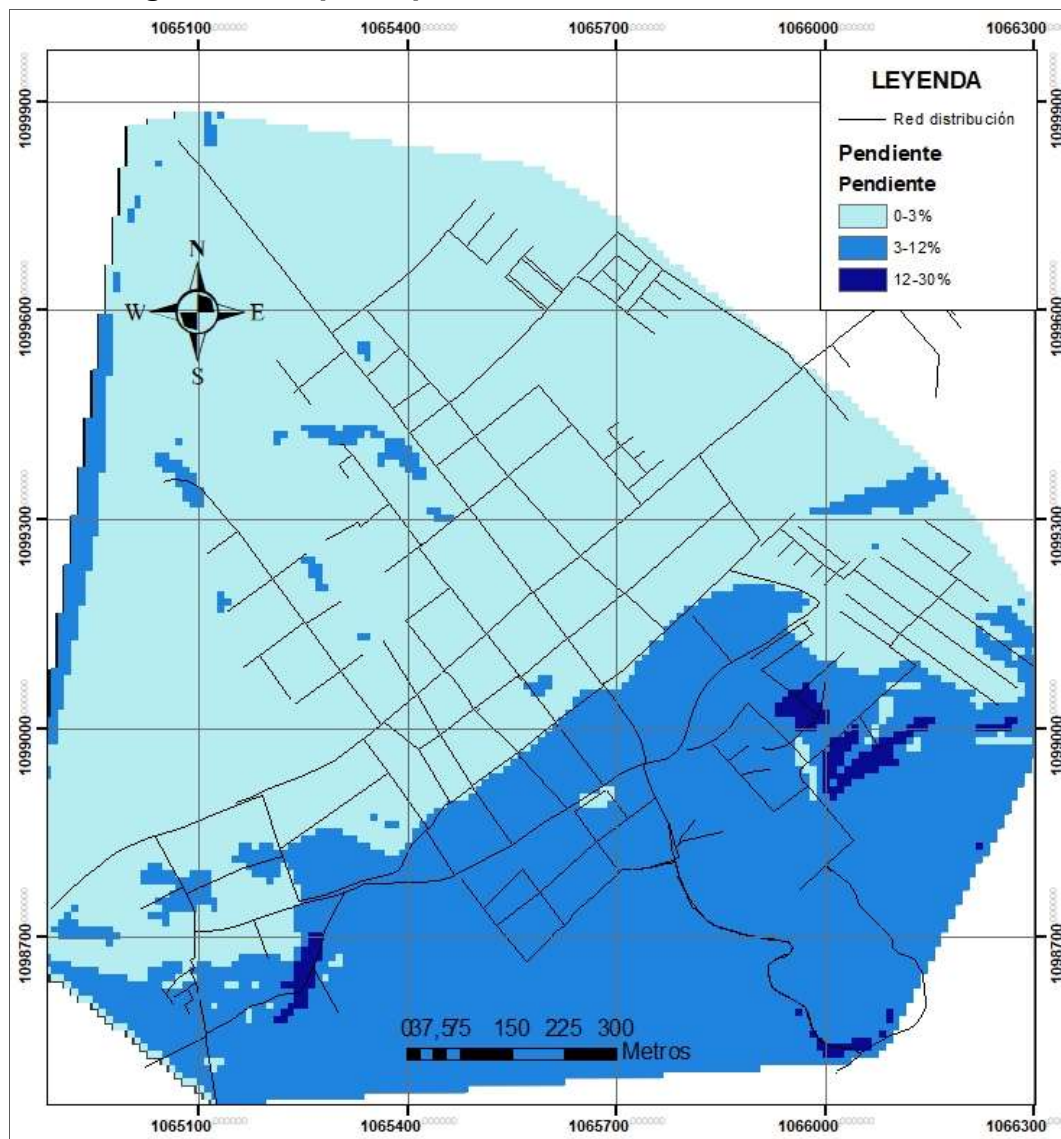
Con base en la topografía existente en el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, se generó el mapa de elevación y de pendientes en un Sistema de Información Geográfica, que permiten visibilizar las diferentes regiones del municipio con pendientes similares, gran parte del casco urbano de Samacá posee pendientes entre 0 y 3 %.

Figura 38. Topografía de la red de distribución de Samacá



Fuente: El autor

Figura 39. Mapa de pendientes de la red de distribución.



Fuente: El autor

La cota de salida del tanque de almacenamiento se encuentra en 2706 msnm, la cota del punto en la red con menor elevación corresponde a 2595 msnm, por tanto, la presión estática en la hora de menor consumo en punto crítico corresponderá a aproximadamente 110 mca.

5.4.2.2.2 Topología de la red

La red de distribución principal cuenta con una tubería principal con diámetro de 160 mm en material PEAD y red secundaria se integra por una serie de tuberías con diámetros desde ½ pulgada hasta 4 pulgadas en material PVC y PEAD.

En el Anexo 8. se encuentra el plano de la red de distribución de agua potable.

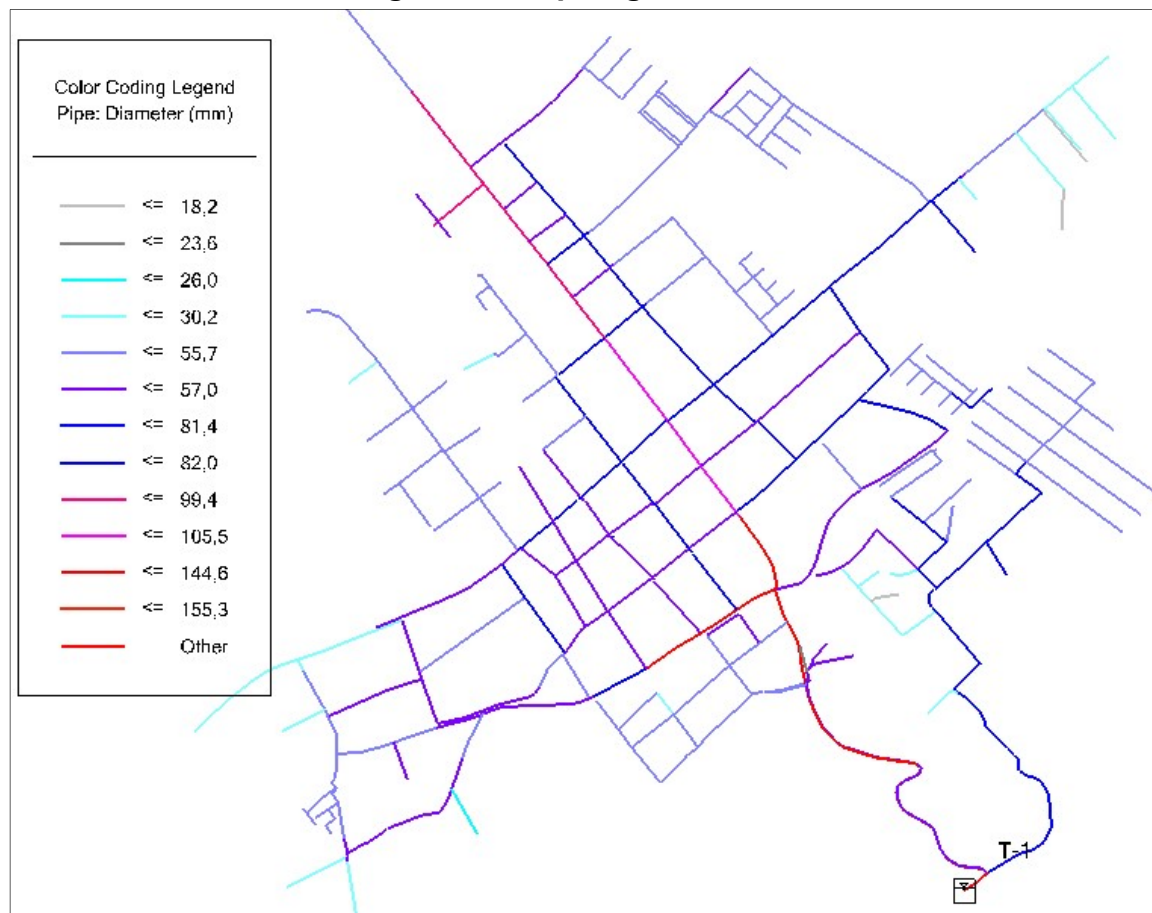
Tabla 53. Diagnóstico rápido de la red.

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS SAMACÁ								
FORMATO DT- 11			DIAGNÓSTICO RÁPIDO DE LA RED					
Red	Diámetro	Material	Longitud (m)	N°	válvulas		Hidrantes	
					Tipo	Estado	N°	Estado
Principal	6"	PEAD	1023,67	5	Compuerta	b		
Secundaria	4"	PEAD	327,67	3	Compuerta	b	3	b
	3"	PVC	2928,98	8	Compuerta	b		
	3"	PEAD	1337,31	12	Compuerta	b	1	b
	2"	PEAD	13396	12	Compuerta	b	3	b
	2"	PVC	8374,72	30	Compuerta	b	1	m
	1"	PVC	1575,01	3	Compuerta	b		
	3/4"	PVC	75,6					
	3/4"	PVC	38,7		Compuerta	b		
	1/2"	PVC	206,8		Compuerta	b		
Totales			29,338	73			5	

Fuente: El autor

Actualmente el sistema de distribución cuenta con 73 válvulas, estas se encuentran parcialmente abiertas, se operan con regularidad y no permiten una completa sectorización.

Figura 40. Topología de la red



Fuente: El autor

Figura 41. Válvulas en la red de distribución



Fuente: El autor

En la red de distribución existe una válvula reductora de presión ubicada a una elevación de 2634 msnm en la tubería de 160 mm que alimenta el sector centro, que corresponde al sector hidráulico con macromedición más grande de la red. La válvula reductora de presión no presenta una presión de salida constante.

Fotografía 51. VRP



Fotografía 52. VRP



Fuente: El autor

Figura 42. Válvula reductora de presión



Fuente: El autor

5.4.3 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los resultados del diagnóstico de las estructuras que comprenden el subsistema de producción, estableciendo la cuantía de pérdidas de agua.

5.4.3.1 Fuente de Abastecimiento Quebrada Cortaderal

5.4.3.1.1 Bocatoma

Tabla 54. Diagnóstico de la Captación

SERVITEATINOS SAMACA S.A E.S.P					
FORMATO DT-03		DIAGNOSTICO DE LA CAPTACION			
Tipo de captación	Nombre / ubicación	Caudal de operación (L/s)	Caudal de operación (m3/mes)	Estado y funcionamiento	Mantenimiento
Bocatoma de fondo	Quebrada Cortaderal / Vereda Pataguy	8,55	22161,60	Bueno	Trimestral

Fuente: El autor

La estructura en términos generales, se encuentra en buen estado, no presenta fugas apreciables.

5.4.3.2 Fuente de Abastecimiento Humedal Cortaderal

Tabla 55. Diagnóstico de la Captación

SERVITEATINOS SAMACA S.A E.S.P					
FORMATO DT-03		DIAGNOSTICO DE LA CAPTACION			
Tipo de captacion	Nombre / ubicación	Caudal de operación (L/s)	Caudal de operación (m³/mes)	Estado y funcionamiento	Mantenimiento
Toma de fondo	Humedal Cortaderal / Vereda Pataguy	11,48	29756,16	Bueno	Trimestral

Fuente: El autor

5.4.3.2.1 Desarenador

Tabla 56. Diagnóstico del desarenador

SERVITEATINOS SAMACA S.A E.S.P					
FORMATO DT-04			DIAGNOSTICO DEL DESARENADOR		
Nombre / Ubicación	Caudal de operación (L/s)	Estado de acceso	Estado de colmatación	Estado de la estructura	Mantenimiento y limpieza
Desarenador 1	8,55	bueno	baja	regular	trimestral
Desarenador 2	20,03	bueno	Alto	bueno	Mensual

Fuente: El autor

Los desarenadores se encuentran funcionando hidráulicamente de manera adecuada, en cuanto a fugas no se evidencia en la estructura, escape de agua.

5.4.3.2.2 Línea de aducción

Tabla 57. Diagnóstico de la aducción

SERVITEATINOS SAMACA S.A E.S.P						
FORMATO DT-05			DIAGNÓSTICO DE ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN			
Tramo	Tipo de material	Sección/diámetro	Longitud (m)	Caudal de operación (L/s)	Accesorios	Observaciones
Aducción (Captación-Planta)	Asbesto / cemento / PVC	10", 8", 6" y 4"	18.300	20,01	A lo largo de la red se observan 13 registros de purga, 19 ventosas y 3 cámaras de quiebre.	Las válvulas de purga son en diámetro de 6" y 4", las válvulas ventosas están en diámetros de 1/2 y 1", tres cámaras de quiebre, 1 bypass, 2 válvulas de alivio

Fuente: El autor

5.4.3.3 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Tabla 58. Diagnóstico global de la planta de tratamiento

SERVITEATINOS SAMACA S.A E.S.P			
FORMATO DT-06		DIAGNOSTICO GLOBAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	
Nombre / ubicación	Proceso de tratamiento	Estado de la estructura	Operación y mantenimiento
2 Plantas de tratamiento compactas	Aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración rápida y desinfección del agua	Toda la parte física en cuanto a válvulas, ductos, accesos, pintura y la totalidad de sus componentes funcionan de manera correcta	Las dos plantas operan con normalidad, el mantenimiento general se hace 1 vez cada 3 meses. Y el lavado de filtros se hace 3 veces al día

Fuente: El autor

5.4.3.4 Caudal de operación de la planta de tratamiento de agua potable

Tabla 59. Diagnóstico de capacidad de la planta

SERVITEATINOS SAMACA S.A E.S.P					
FORMATO DT-07			DIAGNOSTICO DE CAPACIDAD DE LA PLANTA		
Nombre / ubicación	Caudal de operación			Pérdidas por estanqueidad (m3/mes)	Consumo interno de la planta(m3/mes)
	Unidad	De entrada	De salida		
Serviteatinos S.A	L/s	18,50	17,50	1632,96	955,0
	m³/mes	47952	45360		

Fuente: El autor

5.4.4 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.4.4.1 Diagnóstico de pérdidas en el tanque de almacenamiento

El sistema de medición ubicado junto a la planta de tratamiento y que permite la lectura del caudal de salida de los tanques de almacenamiento, presentó un alto grado de incertidumbre en los registros de caudal, debido fundamentalmente a dos factores; a). Ubicación del macromedidor inmediatamente después de la válvula de compuerta sin tener en cuenta la longitud de desarrollo, b). inadecuada regulación de la válvula de compuerta, generando un flujo completamente turbulento y afectando posteriormente la lectura del macromedidor.

Fotografía 53. Macromedidor Sector Centro



Fuente: El autor

Debido a la inexactitud de la medición arrojada por el macromedidor durante un ensayo de 24 horas, no se logró determinar el caudal mínimo nocturno y por tanto el factor de investigación en la red de distribución.

Tabla 60. Diagnóstico de caudales y estanqueidad en el tanque

SERVITEATINOS SAMACA S.A E.S.P						
FORMATO DT-10		DIAGNOSTICO DE CAUDALES Y ESTANQUEIDAD EN EL TANQUE				
Tanque N°	Caudal (L/s)		Pérdidas por estanqueidad (m3/mes)	Caudal promedio diario (Qpd)	Caudal mínimo nocturno (Qmn)	Caudal mínimo nocturno conocido (Qmnc)
	De entrada	De salida				
Tanque N° 1	17,50	17,50	0	0	0	0
Tanque N° 2			0	0	0	0
Total	17,5	17,5	0	0	0	0

Fuente: El autor

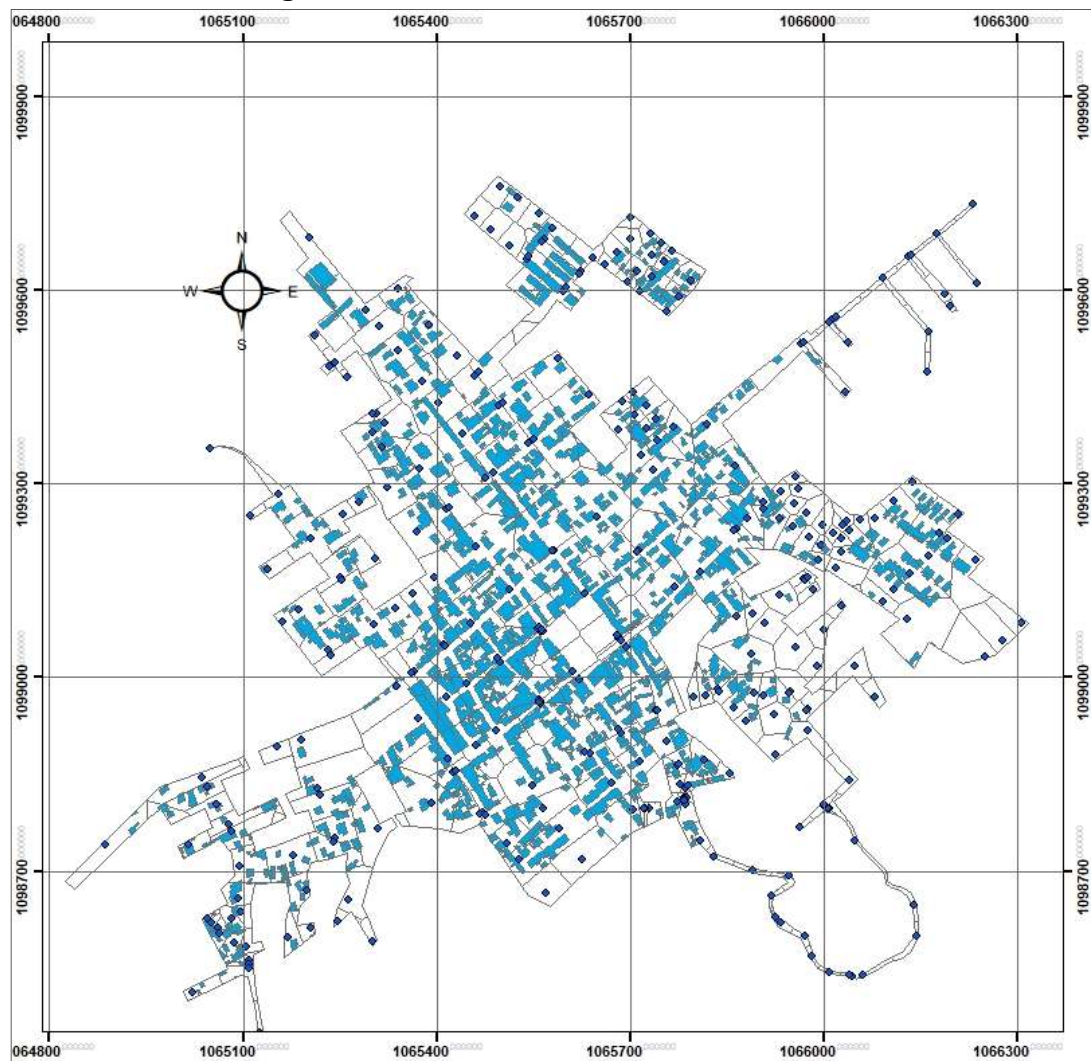
5.4.4.2 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN

5.4.4.2.1 Cálculo y asignación de la demanda

El caudal medio diario en la red de distribución del municipio, se calculó en 17,52 l/s.

- Distribución espacial de la demanda

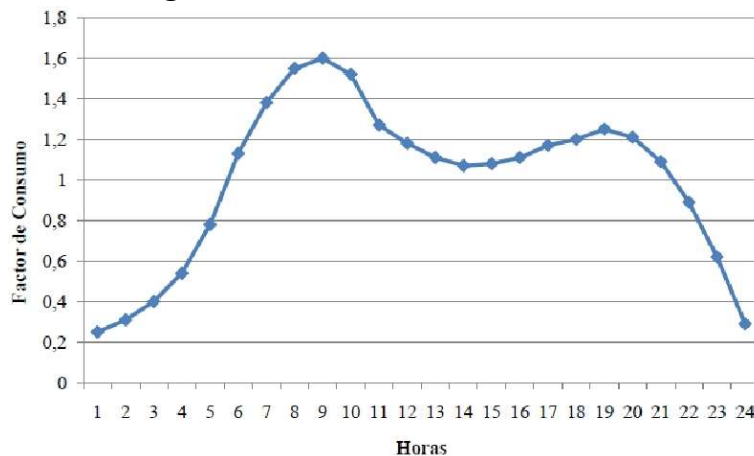
Figura 43. Áreas aferentes en los nodos



Fuente: El autor

La curva de variación del consumo en la red de distribución con el fin de realizar el análisis en periodo extendido, fue tomada del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Samacá. A continuación, se presentan los factores horarios de la variación del consumo.

Figura 44. Variación del consumo



Fuente: Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Samacá

5.4.4.2.2 Ensayo de pitometría

- **Continuidad del servicio**

El sistema de acueducto del municipio de Samacá, brinda un servicio de acueducto continuo las 24 horas del día para los usuarios de la red de distribución, por tanto, el ensayo de pitometría se realizó durante las veinticuatro horas.

- **Análisis de resultados en el tanque de almacenamiento**

Se evaluaron las lecturas del macromedidor “centro” que se registraron durante la prueba de pitometría y se evidenciaron errores en las mismas ya que en algunos momentos se registraron caudales de hasta 104 l/s esto debido al cierre de la válvula de compuerta, por tanto, se tuvieron en cuenta para la evaluación hidráulica del sistema.

- **Puntos monitoreados en la red**

A continuación, se presenta la tabla resumen de los puntos establecidos para el monitoreo del ensayo de pitometría.

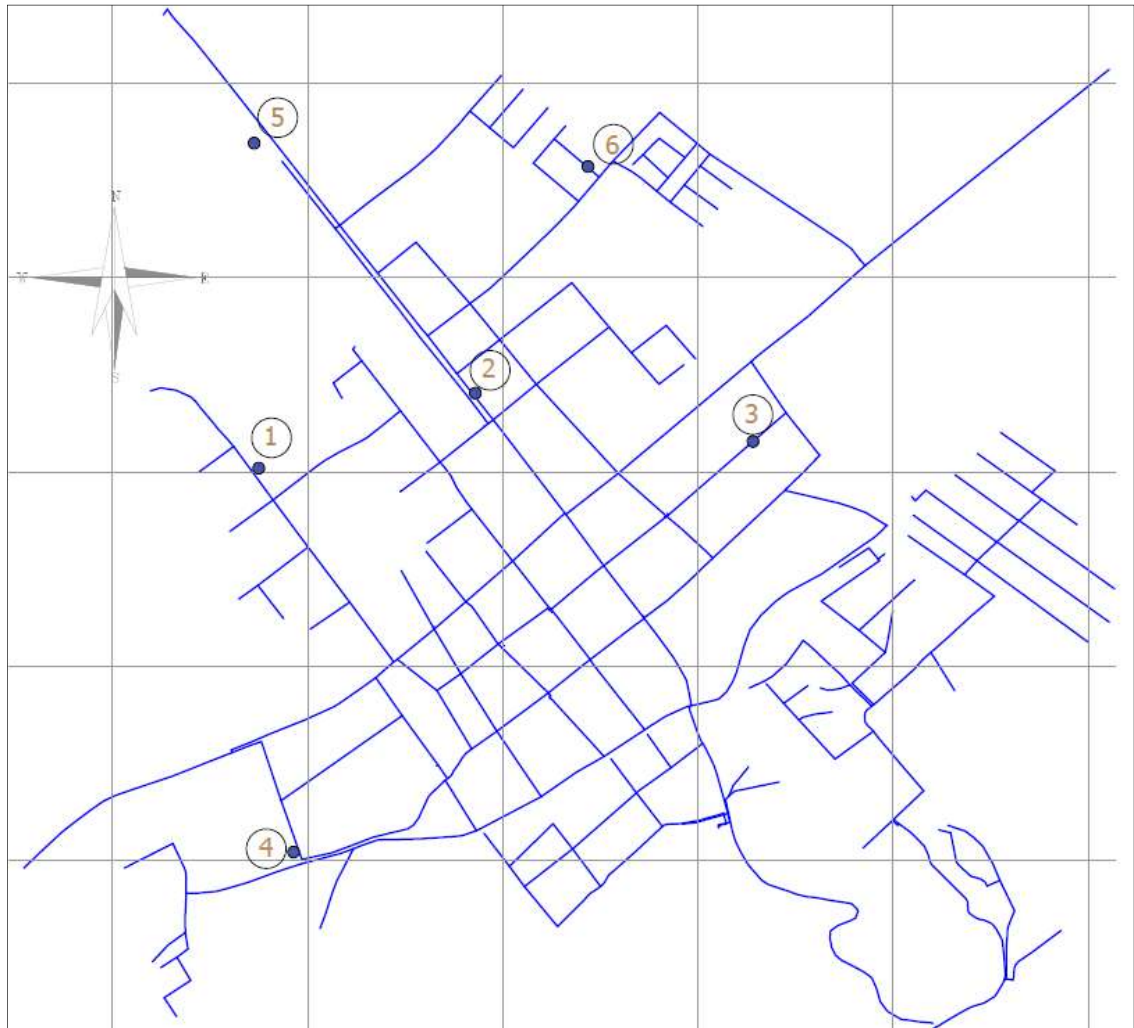
Tabla 61. Puntos monitoreados en la red

PUNTO MONITOREADO	DIRECCIÓN	RED A LA QUE PERTENECE	COORDENADAS
1	Jardín infantil	Secundaria	5°49'29.5"N 73°48'88.1"W
2	Colegio fray juan	Secundaria	5°49'46.1"N 73°48'70.1"W
3	Hospital	Secundaria	5°49'37.1"N 73°48'36.6"W
4	Villamaria	Secundaria	5°48'93.7"N 73°48'89.3"W
5	Salida Samacá	Secundaria	5°49'75.3"N 73°48'93.4"W
6	Rincón campestre	Secundaria	5°49'78.2"N 73°48'48.1"W

Fuente: El autor

- **Localización de los puntos monitoreados**

Figura 45. Localización de puntos de monitoreo

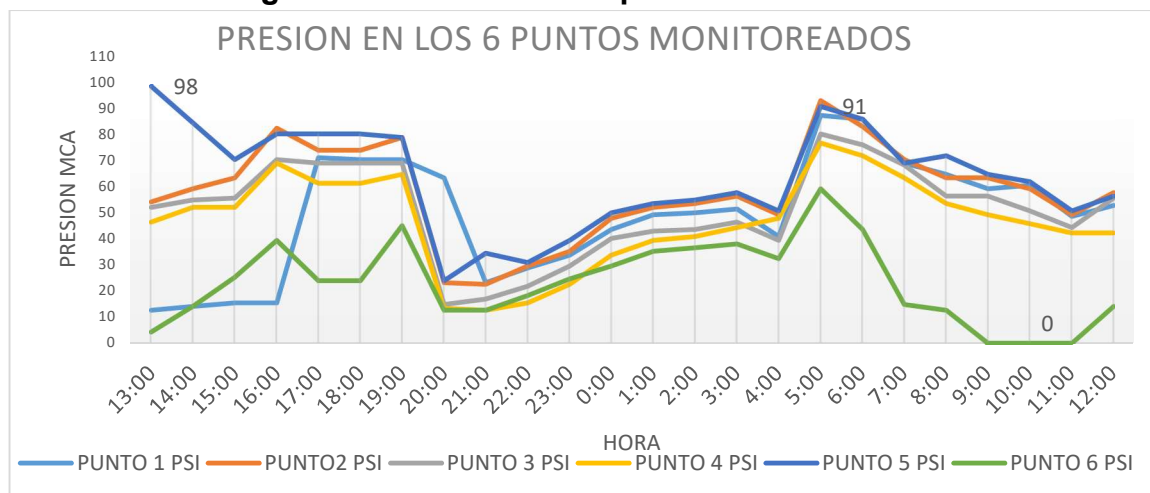


Fuente: El autor

- **Análisis de los puntos de monitoreo**

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de pitometría en los puntos diferentes puntos de monitoreo, registrando los valores de presión a lo largo de la operación del sistema.

Figura 46. Presión en los puntos de monitoreo



Fuente: El autor

Punto de mayor presión

El punto de mayor presión registrado durante la prueba a lo largo de las 24 horas fue el punto 5 denominado “punto salida de Samacá” el cual registro una lectura de 98 MCA estando fuera de los rangos permitidos por el reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico RAS. Los puntos de mayor presión se registraron a las 5:00 am en todos los puntos monitoreados, generándose un evento pico de presiones elevadas importantes de tener en cuenta.

Punto de menor presión

El punto de menor presión fue el punto número 6 denominado “rincón campestre” el cual presento presiones de 0 MCA registrados entre las horas de 9:00 am y 11:00 am, esto se debe a que es el punto más alejado de la planta de tratamiento y a que cuando se presentan altos consumos, este punto va a ser el más afectado por falta del recurso.

5.4.4.2.3 Modelo hidráulico de la red de distribución

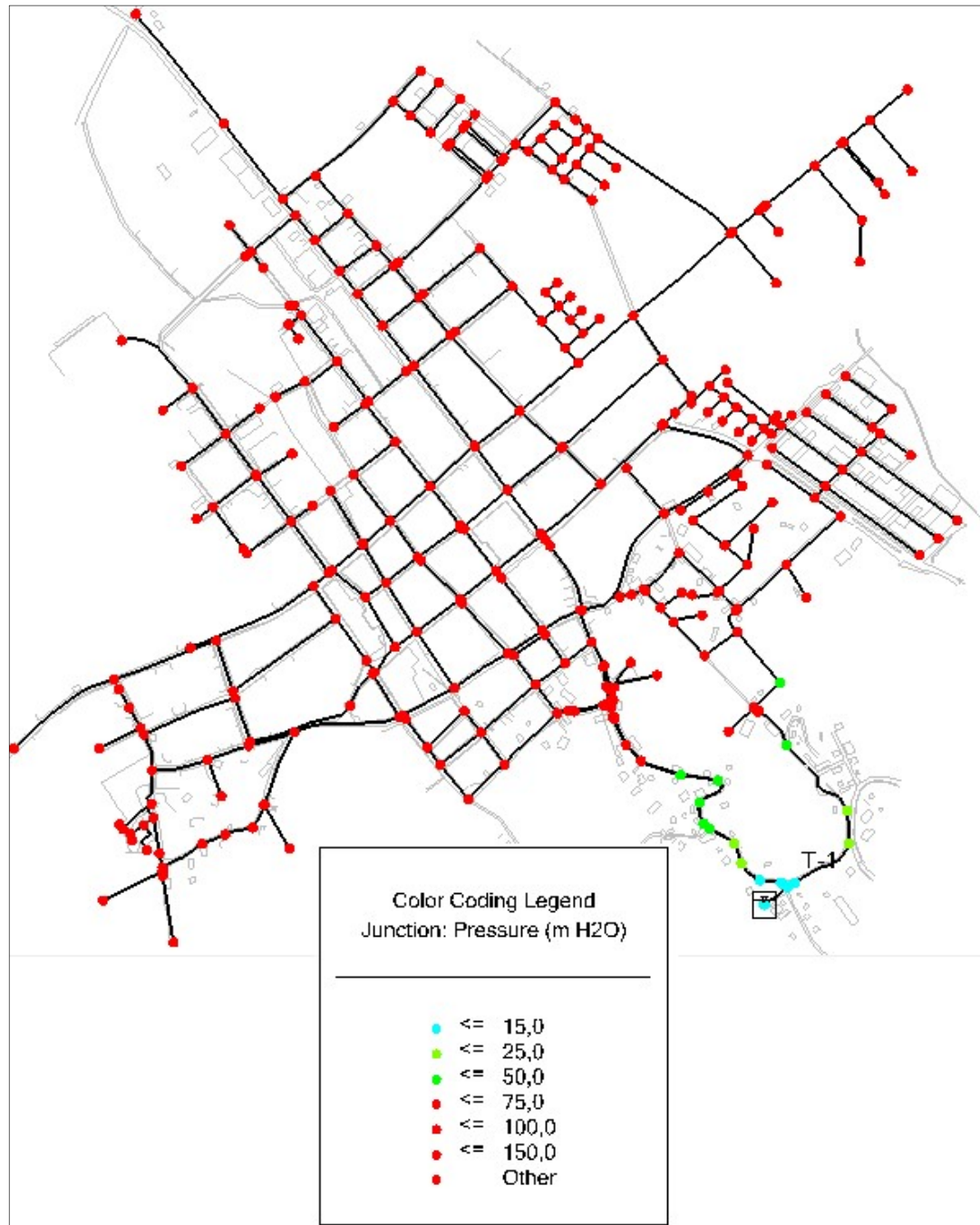
Se presenta a continuación los resultados de la simulación de la red en el software WaterGems, en donde se determinó el plano actual de presiones en la red de distribución para el escenario actual de operación del sistema.

A raíz de las presiones de salida de la válvula reductora de presión y la operación en la válvula de control en la planta de tratamiento, se genera dos escenarios de análisis.

El primer escenario de análisis contempla el caudal medio diario en la red de distribución y la presión en la salida de la válvula reguladora de presión de 70 Psi.

El segundo escenario de análisis contempla el caudal medio diario en la red de distribución y la presión de salida de la válvula reguladora de presión correspondiente a 48 Psi.

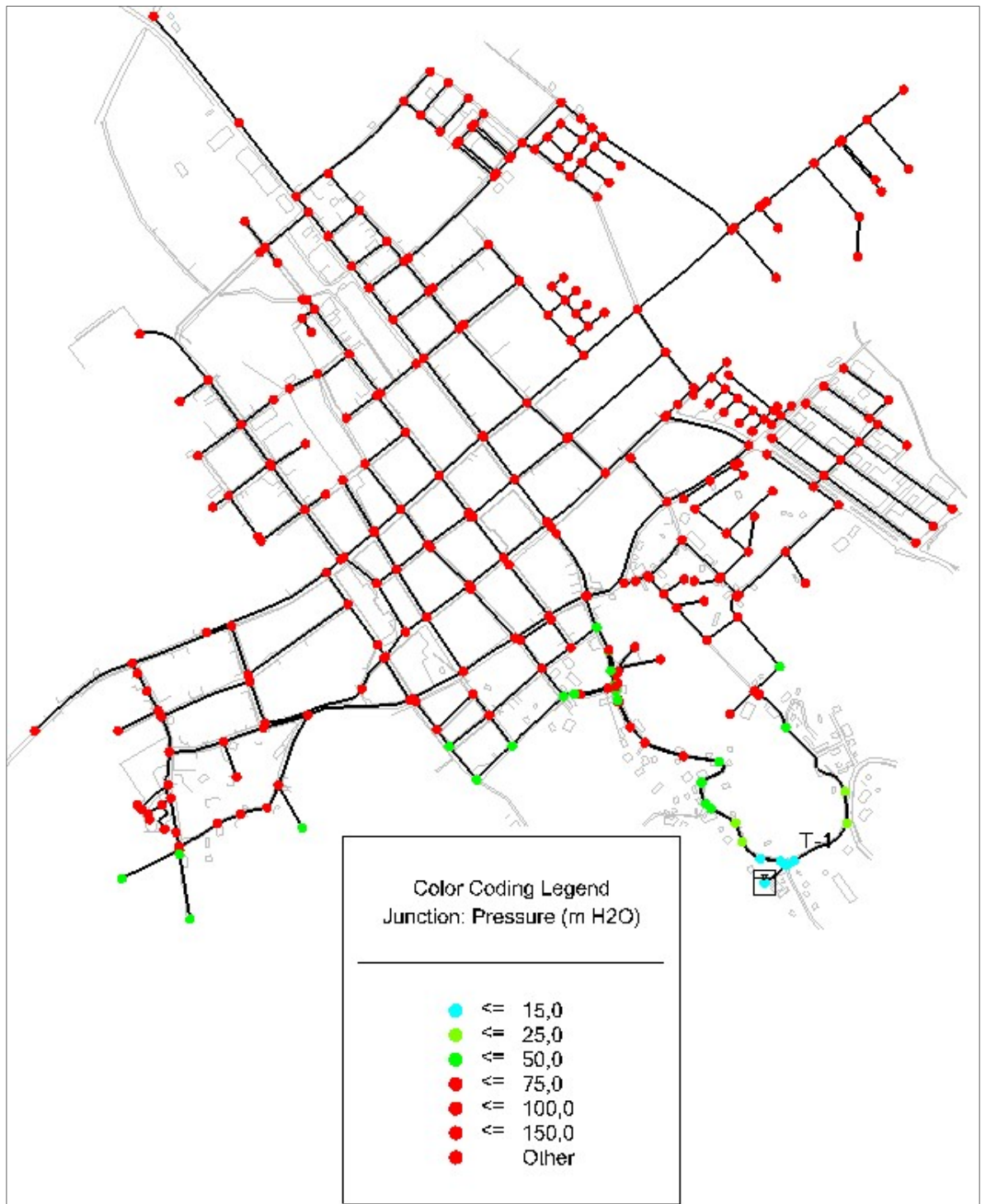
Figura 47. Plano de presiones en el escenario 1



Fuente: El autor

El reporte de la simulación se muestra en el anexo 9.

Figura 48. Plano de presiones en el escenario 2



Fuente: El autor

El reporte de la simulación se muestra en el anexo 10.

Tabla 62. Análisis de la red

Pregunta	Si	No
1.¿Existen zonas de baja presión en la red ?		X
2.¿Existen zonas de alta presión en la red ?	X	
3.¿Se puede mejorar la distribución reparando o instalando algunas pocas válvulas	X	
4.¿Es necesario ejecutar o actualizar el catastro de redes?		X
5. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de edad?	X	
6. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de material?	X	
7. ¿Existe el personal capacitado para operar la red y hacer el mantenimiento?	X	
8. ¿Está definido el presupuesto para optimizar la red de distribución ?		X

Fuente: El autor

5.4.5 DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL

5.4.5.1 DIAGNÓSTICO COMERCIAL

5.4.5.1.1 Consumos facturados

Tabla 63. Consumos facturados

SERVITEATINOS SAMACÁ S.A E.S.P.						
FORMATO DE -10			CONSUMOS FACTURADOS			
ESTRATOS / USOS	Consumos facturados en los últimos 6 meses a usuarios con medidor funcionando (m3/mes)					
	1	2	3	4	5	6
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
único	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Estrato 1	3844	4529	4503	4102	4664	4224
Estrato 2	14267	16052	15653	15227	14528	15298
Estrato 3	4204	4915	4746	4591	4606	4632
SUBTOTAL	22315	25496	24902	23920	23798	24154
Industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Comercial	3083	3764	3346	2883	2989	3073
Oficial	989	2328	1598	1724	1304	1142
TOTAL	26387	31588	29846	28527	28091	28369

Fuente: El autor

Tabla 64. Consumos facturados

SERVITEATINOS SAMACÁ S.A E.S.P.						
FORMATO DE -10			CONSUMOS FACTURADOS			
CPM	NUP	CPMU	CFUSM	VFUSM	CFUCMP	VFUCMP
7	8	(7/8)	9	10	11	12
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
342	4311	12,60526	N/A	N/A	N/A	N/A
1087	15170,83	13,95661	N/A	N/A	N/A	N/A
351	4615,667	13,15005	N/A	N/A	N/A	N/A
1780	24097,5	13,53792	N/A	N/A	N/A	N/A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
138	3189,667	23,11353	N/A	N/A	N/A	N/A
33	1514,167	45,88384	N/A	N/A	N/A	N/A
1951	28801,33	14,76234	N/A	N/A	N/A	N/A

Fuente: El autor

5.4.6 BALANCE DE AGUAS

Tabla 65. Balance de Aguas

SERVITEATINOS SAMACA S.A E.S.P				
FORMATO BA-01			BALANCE DE AGUAS	
Variable	Nombre de la variable		Unidad	Valor
V1	Población urbana		Habitantes	6085,0
V2	Número de domicilios(viviendas, establecimientos comerciales, industriales, oficiales e institucionales)		Unidades	1927,0
V3	Número de conexiones o usuarios registrados		Unidad	1927,0
V4	Número de conexiones con medidor en funcionamiento		Unidad	0,0
V5	Número de conexiones con medidor parado		Unidad	0,0
V6	Número de conexiones sin medidor		Unidad	1927,0
V7	Número estimado de conexiones clandestinas		Unidad	0,0
V8	Volumen facturado a usuarios con medidor en funcionamiento		M ³ /mes	29320,0
V9	Volumen facturado a usuarios con medidor parado		M ³ /mes	0,0
V10	Volumen facturado a usuarios sin medidor		M ³ /mes	0,0
V11	Volumen facturado por venta de agua en bloque		M ³ /mes	0,0
V12	Volumen total facturado		M ³ /mes	29320,0
V13	Error promedio en los micromedidores		%	5,0
V14	Volumen real de consumo en usuarios con medidor en funcionamiento		M ³ /mes	30786,0
V15	Consumo real por usuario con medidor en funcionamiento		(M ³ /mes - usuario)	16,0
V15A	Factor de consumo adicional en usuarios sin medición		Factor	0
V16	Consumo real por usuario sin medición		(M ³ /mes - usuario)	0,0
V17	Volumen de consumo en usuarios con medidor parado		M ³ /mes	0,0
V18	Volumen de consumo en usuarios sin medición		M ³ /mes	0,0
V19	Perdidas por error en micromedición		M ³ /mes	1466,0
V20	Perdidas por usuarios sin medición		M ³ /mes	0,0
V21	Perdidas por usuarios con medidor parado		M ³ /mes	0,0
V22	Perdidas por usuarios clandestinos		M ³ /mes	0,0
V23	Total perdidas comerciales		M ³ /mes	1466,0
V24	Volumen de agua captado		M ³ /mes	51864,0
V25	Volumen de agua cruda recibido de otra fuente		M ³ /mes	0,0

V26	Volumen de agua cruda vendido	M ³ /mes	0,0
V27	Volumen de entrada a la planta	M ³ /mes	47952,0
V28	Pérdidas en el proceso de captación	M ³ /mes	3912,0
V29	Volumen de consumo interno de la planta o gasto operacional de la planta	M ³ /mes	955,9
V30	Perdidas por estanqueidad, filtración en válvulas y accesorios en planta	M ³ /mes	1632,9
V31	Volumen de salida de la planta	M ³ /mes	45360,0
V32	Pérdidas por otras fugas y reboses en la planta	M ³ /mes	3,2
V33	Volumen de agua tratada comprada a otro sistema	M ³ /mes	0
V34A	Volumen producido (suministrado por la ESP)	M ³ /mes	45356,8
V34	Volumen producido (con medición)	M ³ /mes	45360,0
V34B	Pérdidas por error en macromedición	M ³ /mes	3,2
V35	Volumen de entrada a los tanques de almacenamiento	M ³ /mes	45360,0
V36	Volumen de pérdidas por estanqueidad en los tanques de almacenamiento	M ³ /mes	0,0
V37	Volumen de salida de los tanques de almacenamiento.	M ³ /mes	45360,0
V38	Volumen de pérdidas por reboses en tanques	M ³ /mes	0,0
V39	Volumen por venta de agua en bloque	M ³ /mes	0
V40	Caudal mínimo nocturno medido	M ³ /mes	N/A
V41	Consumos mínimos nocturnos conocidos	M ³ /mes	N/A
V42	Caudal promedio diario	L/s	N/A
V43	Volumen de consumo operacional (lavado de tanques más purga y lavado de tuberías)	M ³ /mes	0
V44	Pérdidas por consumos especiales sin medidor(Riego de parques bomberos fuentes públicas)	M ³ /mes	0
V45	Pérdidas en el proceso de distribución	M ³ /mes	16040,0
V46	Pérdidas en tanques de almacenamiento	M ³ /mes	0,0
V47	Pérdidas en fugas visibles y no visibles	M ³ /mes	0,0
V48	Pérdidas en operación inadecuada del sistema	M ³ /mes	14574,0
V49	Factor de investigación	Factor	0,0
V50	Pérdidas en el proceso de CAPTACION	%	8,2
V51	Pérdidas en el proceso de TRATAMIENTO	%	3,4
V52	IANC en el proceso de DISTRIBUCION	%	35,4

Fuente: El autor

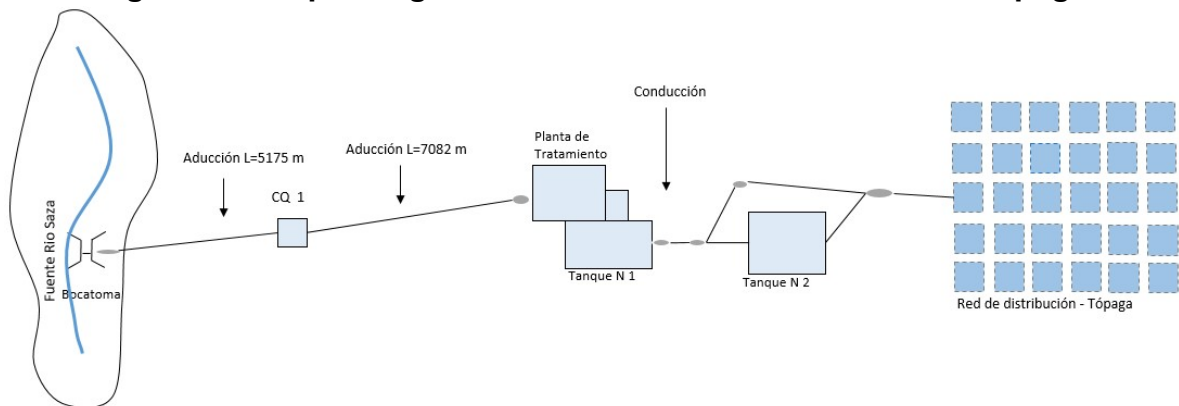
5.5 DIAGNOSTICO TECNICO MUNICIPIO DE TÓPAGA

El municipio de Tópaga, se halla localizado en la provincia Sugamuxi, del departamento de Boyacá, con una altura en su cabecera municipal de 2900 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 12 grados centígrados, limitada al norte con Gámeza, al oriente con Mongua, al sur con Sogamoso y al occidente con Nobsa y corrales y posee una extensión de 33,35 km², siendo uno de los más pequeños de Boyacá. El municipio está situado a 98 Km de la ciudad de Tunja, capital del departamento.

5.5.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

El sistema de acueducto del municipio de Tópaga se compone por un sistema de captación, una línea de aducción, una planta de tratamiento y una red de distribución.

Figura 49. Esquema general del sistema de acueducto de Tópaga



Fuente: El autor

5.5.1.1 Fuente de abastecimiento “Río Saza, Sector las playas”

Actualmente el municipio de Tópaga, cuenta con la fuente de abastecimiento denominada “Río Saza, Sector las playas” y cuyo caudal es derivado mediante un sistema de captación, ubicado a una altura de 3209,10 msnm en la vereda Saza del municipio de Gámeza. El sistema de captación se encuentra constituido en general por una bocatoma lateral, una cámara de aquietamiento y una válvula de corte.

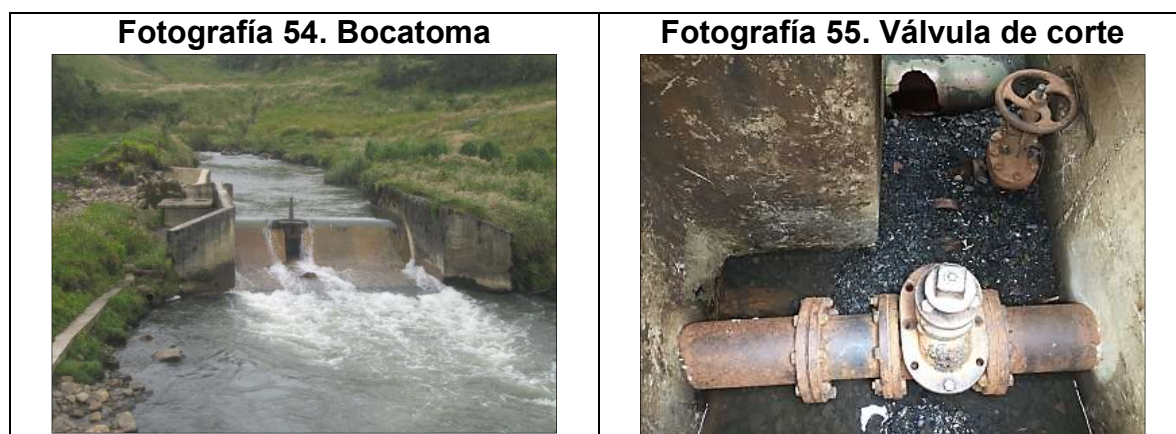
5.5.1.1.1 Bocatoma

La bocatoma cuenta con un muro de realce de 1.5 m; la dimensión de la rejilla de la bocatoma en la parte interna es de 50cm X 50cm mientras que para la parte interna

cuenta con otra rejilla de dimensiones 40cm X 40cm; la separación de los barrotes es de 10cm con varilla de 1/2". El sistema cuenta con una cámara de recolección de 1.85m X 2.30m y válvula de control de 6" de diámetro.

5.5.1.1.2 Cámara de derivación

La cámara de derivación consta de dos cámaras que controlan el nivel agua, sin embargo, esta estructura no presenta vertedero de excesos por ende tampoco presenta cámara de excesos. Dentro de un compartimiento correspondiente a la cámara de derivación se encuentra la válvula de corte que tiene como función detener el transito del caudal a través de la tubería de aducción.



Fuente: El autor

5.5.1.1.3 Línea de aducción

Se ubica en la vereda Saza, entre las abscisas K0+000 m y K12+259 m. La aducción presenta diámetros de 6 pulgadas, 4 pulgadas y finalmente 3 pulgadas correspondientes a el tramo de entrada a la planta de tratamiento, el material de la aducción antiguamente era en su totalidad de hierro galvanizado, en la actualidad, aunque presenta tramos con este material, se compone principalmente de PVC.

La existencia de una cámara de quiebre en la aducción divide la línea en dos tramos.

Tabla 66. Línea de aducción

Abscisa	Longitud	Tramo	Cota	Diámetro	Observación
0	5175	1	3209,10	6 pulgadas	Salida Bocatoma
5175			2095	4 pulgadas	Llegada Cámara de Quiebre
5177	7082	2	3095	4 pulgadas	Salida Cámara de quiebre
12259			2961,06	3 pulgadas	Llegada PTAP

Fuente: El autor

A aproximadamente 250 metros de la cámara de derivación se encuentra la reducción de 6 a 4 pulgadas diámetro de tubería de aducción, la cual además contiene una válvula de purga, que permite la evacuación de lodos captados.

En la cámara de quiebre, ubicada en la abscisa K5+175, se realiza el quiebre de la línea piezométrica que se ha ganado al avanzar en pendiente.

Fotografía 56. Línea de aducción



Fotografía 57. Cámara de quiebre



Fuente: El autor

5.5.1.2 Planta de tratamiento de agua potable

La planta de tratamiento del sistema de acueducto urbano del municipio de Tópaga, se encuentra ubicada en la vereda San Judas Tadeo, en la parte alta a las afueras del municipio a una altura de 2961,06 msnm, esta planta es de tipo compacta.

La planta de tratamiento se compone por un macromedidor de entrada, procesos de floculación, coagulación, filtración rápida y filtración lenta y desinfección.

Fotografía 58. Planta de tratamiento



Fotografía 59. Medidor de entrada



Fuente: El autor

5.5.1.2.1 Macromedidor de entrada

El macromedidor de entrada se encuentra en la tubería de PVC de 3 pulgadas, proveniente de la línea de aducción, el macromedidor actualmente se encuentra funcionando.

5.5.1.2.2 Floculador y sedimentador

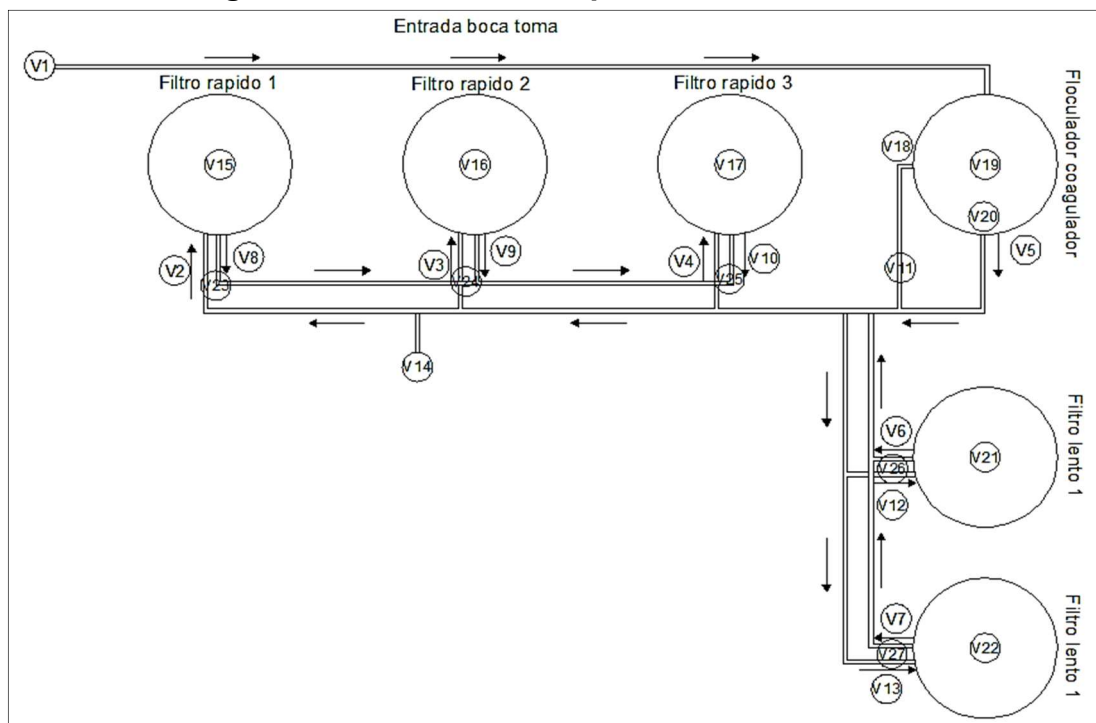
Mediante una dosificación manual de sulfato de aluminio, se transporta la mezcla al floculador y sedimentador.

5.5.1.2.3 Filtración

El proceso de filtración se compone por tres filtros rápidos y dos filtros lentos, los cuales se conectan entre sí mediante tubería de 4 pulgadas, además de poseer válvulas mariposa con el fin de desviar el flujo y realizar el retrolavado.

El proceso de retrolavado se realiza todos los días, con una duración de 20 minutos.

Figura 50. Procesos en la planta de tratamiento



Fuente: El autor

5.5.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.5.2.1 Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento se encuentran ubicados en la parte alta del municipio, el primer tanque de almacenamiento se encuentra localizado debajo de la planta de tratamiento y el segundo tanque de almacenamiento se ubica a 100 metros de la planta de tratamiento en dirección del casco urbano.

Tabla 67. Diagnóstico de los tanques de almacenamiento

FORMATO DT-09	DIAGNÓSTICO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO	
Nombre / Ubicación	Tanque 1	Tanque 2
Localización	Planta de tratamiento	Sector Judas Tadeo
Tipo	Enterrado	Semi-enterrado
Dimensiones	Rectangular	Rectangular
Alto (m)	3,13	2,2
Ancho (m)	6,23	6,95
Largo(m)	8,36	7,1
Capacidad(m ³)	171,87	108,56
Nivel máximo	3	2
Nivel mínimo	0,2	0,2
Número de fisuras	Ninguna	Ninguna
Número de fugas	Ninguna	Ninguna
Barrios o zonas que abastece	Los dos tanques se encuentran interconectados y surten la red de distribución.	

Fuente: El autor

5.5.2.1.1 Tanque de almacenamiento 1

El tanque de almacenamiento, se encuentra construido en concreto, y ubicado en el predio de la planta de tratamiento, exactamente debajo de la planta de tratamiento, este tanque cuenta con un enchape en el interior de baldosas, de igual manera se identifican dos válvulas de tipo cortina que permiten el desagüe y la distribución de agua tratada a la red de distribución.

El agua llega al tanque, mediante una tubería en material PVC de 4 pulgadas procedente del proceso de filtración.

Fotografía 60. Tanque N°1



Fotografía 61. Tanque N°1



Fuente: El autor

5.5.2.1.2 Tanque de almacenamiento 2

El tanque de almacenamiento se encuentra construido en concreto y se encuentra ubicado en un lote aledaño a una distancia de 100 m a la planta de tratamiento, en su interior se cuenta con un enchape de baldosas, de igual manera se identifican dos válvulas de tipo cortina que permiten el desagüe y la distribución de agua tratada a la red de distribución.

El agua llega del tanque N° 1, por medio de una tubería en material PVC de 4 pulgadas, entre el tanque N°1 y el tanque N°2, se encuentra una válvula.

Fotografía 62. Tanque N° 2



Fotografía 63. Tanque N° 2



Fuente: El autor

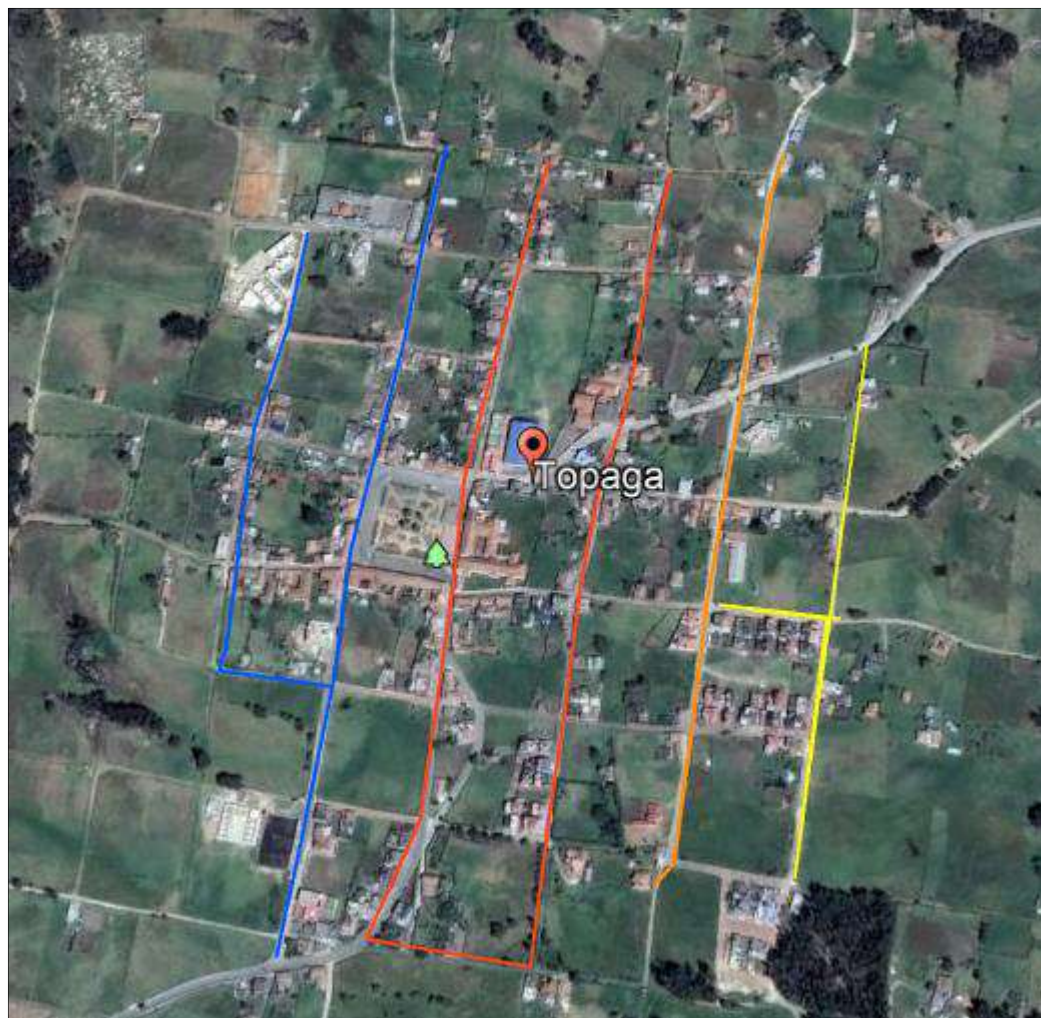
5.5.2.2 Red de distribución del sistema de acueducto

En la red de distribución del municipio de Tópaga, los suscriptores cuentan con micromedidores, sin embargo, desde su instalación, la empresa de servicios públicos no ha realizado la lectura de los micromedidores, para efectuar la

facturación con base en los consumos. La razón fundamental consiste en los problemas con los que opera la red de distribución, generando una deficiente prestación del servicio y por tanto realizando el cobro vía tarifa plena.

El volumen de agua producido en la planta de tratamiento, no es distribuido a la red, de manera uniforme contando actualmente con un racionamiento mediante 4 sectores, que se rotan continuamente.

Figura 51. Sectores de abastecimiento



Fuente: El autor

5.5.3 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los resultados del diagnóstico de las estructuras que comprenden el subsistema de producción, estableciendo la cuantía de pérdidas de agua.

5.5.3.1 Fuente de abastecimiento “Río Saza, Sector las playas”

5.5.3.1.1 Bocatoma

Tabla 68. Diagnóstico de la captación

FORMATO DT-03		DIAGNÓSTICO DE LA CAPTACION			
Nombre / ubicación	Tipo de captación	Caudal de operación (l/s)	Caudal de operación (m3/mes)	Estado y funcionamiento	Mantenimiento
Rio Saza / Sector las playas	Bocatoma Lateral	8,9	23068	Bueno	Regular

Fuente: El autor

La estructura en términos generales se encuentra en buen estado, no se encuentran fugas considerables.

La inexistencia de un desarenador en el proceso de captación, genera enormes dificultades, que consisten generalmente en el taponamiento de la línea de aducción, debido a las altas cargas de sedimentos que se presentan en la fuente de abastecimiento, por tanto, afectando el adecuado funcionamiento del subsistema de producción y por ende de todo el sistema de acueducto.

5.5.3.1.2 Línea de aducción

Tabla 69. Diagnóstico de la aducción

FORMATO DT-05			DIAGNÓSTICO DE ADUCCIÓN Y CONDUCCIÓN			
Tramo	Tipo de material	Sección/ diámetro	Longitud (m)	Caudal de operación (L/s)	Accesorios	Observaciones
Aducción (Captación-Planta)	Tuberías en Hierro Galvanizado / PVC	6, 4, 3 pulgadas	12259	8,9	Una cámara de quiebre	La única cámara de quiebre existente en la aducción se encuentra a 5175 m de la bocatoma.

Fuente: El autor

La línea de aducción, se encuentra en un terreno montañoso, con una diferencia total de altura, desde la bocatoma hasta la planta de tratamiento de 274 metros, sin embargo, pese a lo anterior, solo existe una cámara de quiebre que permita aliviar la presión generada o ganada debido a las pendientes.

Las tuberías de la línea de aducción, presentan más de 25 años de vida útil en la mayoría de los tramos, viéndose afectada la infraestructura por causa de las altas presiones y falta de cámaras de quiebre en proceso de transporte.

5.5.3.2 Planta de tratamiento de agua potable

Tabla 70. Diagnóstico global de la planta de tratamiento

FORMATO DT-06		DIAGNOSTICO GLOBAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	
Nombre/ ubicación	Proceso de tratamiento	Estado de la estructura	Operación y mantenimiento
Planta de tratamiento convencional	Floculación	Bueno	Bueno
	Filtración rápida	Bueno	
	Filtración Lenta	Bueno	
	Desinfección.	Bueno	

Fuente: El autor

Caudal de operación de la planta de tratamiento

Tabla 71. Diagnóstico de capacidad de la planta

FORMATO DT-07		DIAGNOSTICO DE CAPACIDAD DE LA PLANTA			
Nombre/ubicación	und	Caudal		Pérdidas de la planta (m3/mes)	Consumo interno de la planta(m3/mes)
		De entrada	De salida		
Planta de tratamiento	l/s	3,68	3,49	476,9	170
	m3/mes	9538	9061,1		

Fuente: El autor

5.5.4 DIAGNÓSTICO DE PÉRDIDAS EN EL SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.5.4.1 Diagnóstico de pérdidas en el tanque de almacenamiento

No existe sistema de macromedición en la entrada o salida de los tanques de almacenamiento, por ende, se desconoce completamente los caudales operados en estas estructuras.

Debido a la anormalidad con la que se presta el servicio, ya que se cuenta con racionamiento del recurso, no se logró determinar los caudales de operación con exactitud, así como tampoco la curva de masas, que permita analizar el comportamiento del consumo de los usuarios en la red.

Adicional a lo anterior, el racionamiento de agua en sectores, solamente generando el suministro en horas del día y cerrando las válvulas en las horas nocturnas, no permite conocer los caudales nocturnos y, por ende, el factor de investigación en el subsistema de distribución.

Tabla 72. Diagnóstico de caudales y estanqueidad en el tanque

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS TOPAGA						
DT-10	DIAGNOSTICO DE CAUDALES Y ESTANQUEIDAD EN EL TANQUE					
Tanque N°	Caudal		Pérdidas por estanqueidad (m3/mes)	Caudal promedio diario (Qpd)	Caudal mínimo nocturno (Qmn)	Caudal mínimo nocturno conocido (Qmnc)
	De entrada	De salida				
1	3,49	3,49	0	3,49	0	0
2			0			
TOTAL	3,49	3,49	0	3,49	0	0

Fuente: El autor

5.5.4.2 Diagnóstico de pérdidas en la red de distribución

La inexistencia de un suministro continuo y uniforme de agua potable a la red de distribución, imposibilitan la realización del ensayo de pitometría, así como la elaboración de un modelo hidráulico, que permita conocer el plano de presiones de operación actual en el proceso de distribución.

El escenario antes descrito refleja, el mal funcionamiento del sistema de acueducto del municipio de Tópaga, donde el suministro de agua posee un comportamiento contrario al adecuado, ya que es necesario contar con un suministro continuo en la red de distribución, independientemente del número de sectores existentes.

De acuerdo a la ecuación del índice de agua no contabilizada y debido a las limitaciones existentes, como la inexistencia de información empresarial que permita conocer los volúmenes producidos, el diagnóstico de la red del municipio de Tópaga, se orienta en establecer de manera aproximada el índice de agua no contabilizada.

De acuerdo a las dotaciones máximas por habitante establecidas en la Resolución 0330 de 2017, se determinó una dotación neta en la red de distribución de 1,95 l/s, por tanto, al considerar la dotación neta calculada anteriormente como el volumen consumido por los usuarios, se logra estimar el valor del índice de agua no contabilizada, obteniendo un porcentaje de pérdidas en la red de distribución de 47 %.

Tabla 73. Análisis de la red

Pregunta	Si	No
1. ¿Existen zonas de baja presión en la red ?	-	-
2. ¿Existen zonas de alta presión en la red ?	-	-
3. ¿Se puede mejorar la distribución reparando o instalando algunas pocas válvulas	-	-
4. ¿Es necesario ejecutar o actualizar el catastro de redes?	X	
5. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de edad?	X	
6. ¿Es necesario reemplazar tuberías por problemas de material?	X	
7. ¿Existe el personal capacitado para operar la red y hacer el mantenimiento?		X
8. ¿Está definido el presupuesto para optimizar la red de distribución ?		X

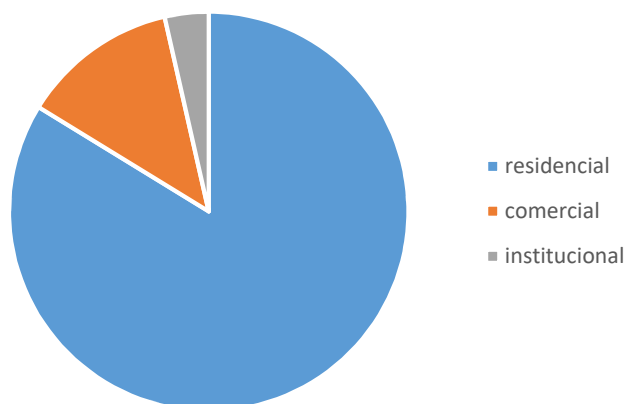
Fuente: El autor

5.5.5 DIAGNÓSTICO EMPRESARIAL

La empresa de servicios públicos de Tópaga, Emtópaga, no cuenta con facturación en función de los consumos de cada usuario, mediante la lectura del micromedidor, por el contrario, lo realiza en función del tipo de uso y del estrato correspondiente.

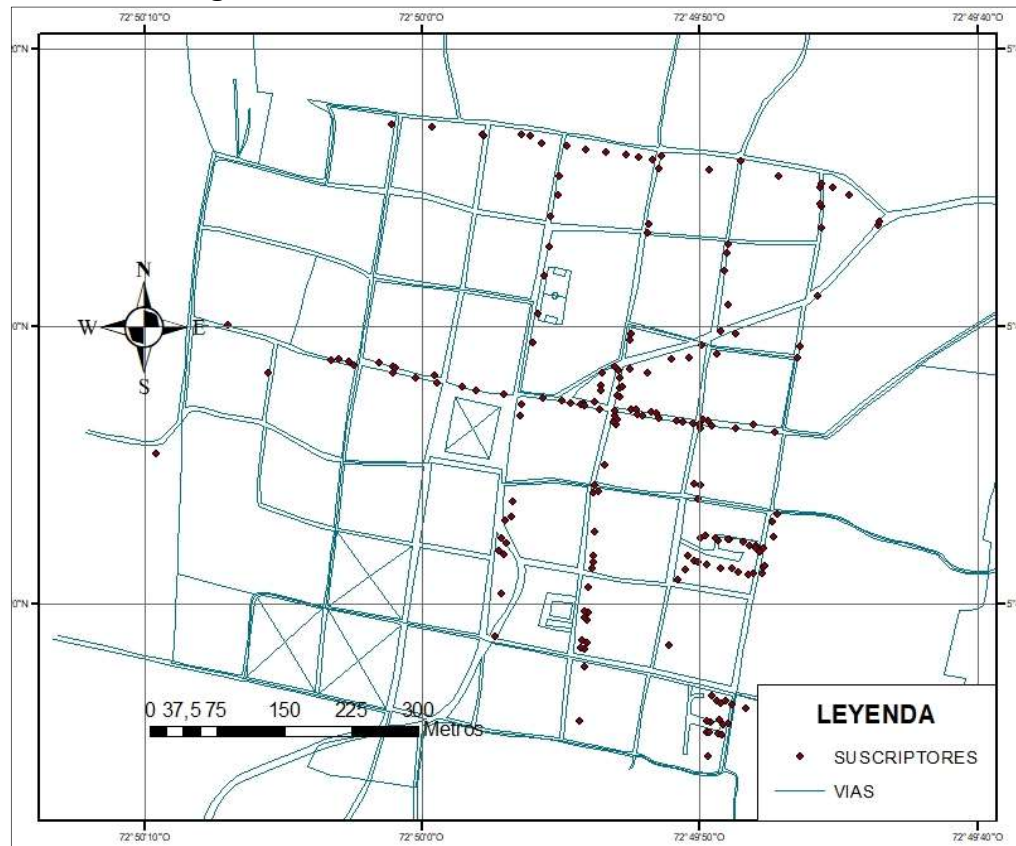
Se realizó un censo en el casco urbano del municipio, en donde se determinó 229 suscriptores o usuarios del sistema de acueducto y una población urbana de 1406 habitantes, obteniendo como resultado tres tipos de usos de agua.

Figura 52. Usos del agua en Tópaga



Fuente: El autor

Figura 53. Usuarios en la red de distribución



Fuente: El autor

Por tanto, la facturación en términos globales, es general, y no permite dilucidar información referente a los consumos de cada uno de los habitantes y por tanto de la demanda real del municipio.

Tabla 73. Tarifas básicas

Tarifa	Tipo de Uso
4300	Vereda
11300	Urbano Residencial
16400	Urbano Comercial

Fuente: El autor

El aspecto comercial del diagnóstico empresarial de Emtópaga, es deficiente, y la razón por la cual no existe proceso de facturación que permita avanzar en una transformación empresarial reside en la problemática correspondiente a la calidad del suministro de agua.

5.6 ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE AGUA NO CONTABILIZADA

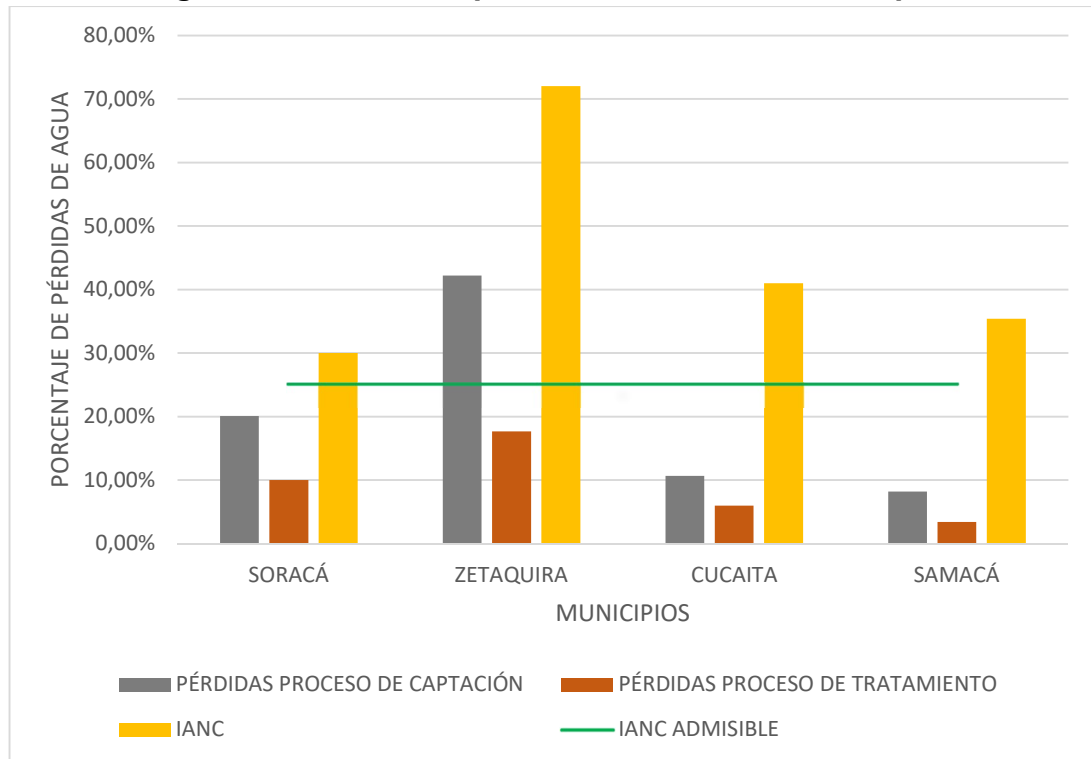
De acuerdo a los resultados encontrados producto del diagnóstico técnico y empresarial en los municipios del presente estudio se logró establecer, que poseen un índice de agua no contabilizada superior al 25 % y, por tanto, excediendo el máximo establecido en el Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Resolución 0330 de 2017)

Tabla 74. Resumen de los cinco municipios

			MUNICIPIOS				
			SORACÁ	ZETAQUIRA	CUCAITA	SAMACÁ	TÓPAGA
SUBSISTEMA DE PRODUCCIÓN	PROCESO DE CAPTACIÓN	CAUDAL CAPTADO (l/s)	4,76 lps	18,5 lps	3,7 lps	20,03%	8,90%
		PÉRDIDAS EN EL PROCESO DE CAPTACIÓN (%)	20,10%	42,20%	10,70%	8,20%	41%
	PROCESO DE TRATAMIENTO	CAUDAL TRATADO (l/s)	3,93 lps	10 lps	3,32 lps	17,5 lps	3,68 lps
		PÉRDIDAS EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO (%)	10%	17,70%	6%	3,40%	5,10%
SUBSISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	PROCESO DE DISTRIBUCIÓN	¿EXISTE MICROMEDICIÓN?	SI	SI	SI	SI	EXISTE, PERO NO FUNCIONA
		MATERIAL DE LA TUBERÍA	PVC	PVC	PVC	PEAD, PVC	PVC
		¿EXISTEN ZONAS DE BAJA PRESIÓN EN LA RED?	NO	NO	NO	NO	---
		¿EXISTEN ZONAS DE ALTA PRESIÓN EN LA RED?	NO	SI	NO	SI	---
		¿EXISTE RACIONAMIENTO?	SI	NO	SI	NO	SI
		¿EXISTE SECTORIZACIÓN?	NO	NO	NO	SI	NO
		CAUDAL MEDIO DIARIO Qmd (l/s)	3,5	7,75	3,1	17,52	---
		IANC	30%	72%	41%	35,40%	---

Fuente: El autor

Figura 54. Niveles de pérdida en los cinco municipios



Fuente: El autor

5.6.1 SORACÁ

El sistema de acueducto del municipio de Soracá, posee un índice de agua no contabilizada de 30 %, cinco puntos por encima del máximo admisible, sin embargo, el IANC más bajo de los municipios analizados, debido principalmente a que la tubería en la red de distribución es relativamente reciente ya que posee 10 años de construida y cuenta con presiones de operación adecuadas, operando en el rango delimitado por la normatividad colombiana, se presentan valores máximos de 42 mca y mínimos de 7,3 mca.

Fue posible identificar que una de las principales pérdidas del volumen de agua, es la existencia de usuarios fraudulentos y clandestinos, ya que, en el diagnóstico empresarial, mediante el análisis de los consumos de los usuarios se logra establecer para algunos usuarios una dotación de consumo de 66 L/hab*día, encontrándose muy por debajo de la máxima establecida de 120 l/hab*día.

El Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, define una dotación de consumo promedio por suscriptor de 10,8 m³/mes²⁶ para NCS bajo, ahora bien, de acuerdo con Chacón, Lizcano y Lara, quienes analizan el consumo básico de agua potable en Colombia, concluye que el promedio consumo mensual de los estratos 1 a 3 en municipios cálidos y templados, se encuentra entre 15 y 16 m³/mes y para municipios fríos entre 12 y 13 m³/mes²⁷.

La empresa de Servicios Públicos de Soracá, a pesar de que ha adelantado una transformación empresarial, presenta una falencia en desde el punto técnico en cuanto a la detección de filtraciones y desde el punto empresarial en cuanto a la detección de usuarios fraudulentos, y ante el escenario planteado, se encuentra sin un proceder claro debido a la inexistencia de un plan de mantenimiento y búsqueda de fugas, registro de PQR (Peticiónes Quejas y Reclamos), así como la inexistencia de las herramientas necesarias para llevar a cabo el control como lo son macromedidores por sectores hidráulicos y geófonos.

La empresa de Servicios Públicos de Soracá, ha tocado las puertas de las empresas Veolia S.A y la Empresa Departamental de Servicios Públicos de Boyacá S.A E.S.P, con el fin de realizar convenios que permitan acceder a equipos como geófonos necesarias para localizar usuarios fraudulentos, pero hasta el momento, toda esta tarea se ha quedado en gestión.

5.6.2 ZETAQUIRA

El sistema de acueducto del municipio de Zetaquirá, posee un índice de agua no contabilizada de 72 %, 47 puntos por encima del máximo admisible y corresponde al IANC más alto de los municipios analizados.

Las causas principales de pérdida del volumen de agua, corresponden a dos factores, el primero referente al estado de la infraestructura, en donde se encuentra una red de distribución con una edad de aproximadamente 30 años y el segundo concerniente a la inadecuada operación de la infraestructura, ya que se encuentra operando fuera del rango delimitado por la normatividad colombiana, presentándose valores máximos de 84 mca y mínimos de 42 mca.

La combinación de los factores mencionados anteriormente, genera un escenario en donde se presentan caudales de fuga representativos y por tanto así, el alto nivel de pérdidas en la red de distribución en el municipio de Zetaquirá.

²⁶ MVCT, Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, 2010, p 32.

²⁷ Chacón M, Lizcano y Lara, Consumo Básico de Agua en Colombia, 2011, p 18.

El diagnóstico empresarial, de la misma forma presenta una serie de falencias, principalmente debido al desconocimiento de los volúmenes de pérdidas en la red y, por tanto, el desconocimiento de pérdida por usuarios fraudulentos.

5.6.3 CUCAITA

El sistema de acueducto del municipio de Cucaita, posee un índice de agua no contabilizada de 41 %, 16 puntos por encima del máximo admisible.

Después de conocer las condiciones técnicas y operativas del sistema fue posible identificar que una de las principales pérdidas del volumen de agua, es la existencia de usuarios fraudulentos ya que, en el diagnóstico empresarial, mediante el análisis de los consumos facturados de los usuarios se logra establecer que el CPMU (consumo promedio mensual por usuario) posee valores dotaciones en el orden de 62 l/hab*día muy bajos con respecto 120 l/hab*día, dotación máxima establecida en la reglamentación colombiana.

Sin embargo, frente al panorama anterior, la unidad de servicios públicos de Cucaita, no tiene un conocimiento amplio de los suscriptores, y de esta manera poder determinar con exactitud las dotaciones de consumo para los usuarios con volúmenes anormales de facturación.

5.6.4 SAMACÁ

El sistema de acueducto del municipio de Samacá, posee un índice de agua no contabilizada de 35 %, 10 puntos por encima del máximo admisible, sin embargo, un valor alto en contraste con la ardua labor de mantenimiento del sistema de acueducto del casco urbano.

La empresa Serviteatinos S.A E.S.P. desarrolla actualmente procesos de mejora en el servicio, como la renovación de redes de agua potable en la mayor parte de la red de distribución, cambiando las tuberías de PVC por tuberías en material de Polietileno de Alta Densidad PEAD, así como realizando jornadas de búsqueda de fugas mediante geófonos, generándose un escenario de tuberías con mínimas fugas, en donde las válvulas se operan continuamente para garantizar la correcta prestación del servicio.

Adicionalmente la empresa, ha realizado una excelente transformación empresarial, contando con un equipo de trabajo, que busca brindar un servicio adecuado.

El escenario anterior claramente podría presentar un bajo índice de agua no contabilizada, sin embargo, el IANC se encuentra 10 puntos por encima del máximo,

y la principal razón de contar con tal nivel de pérdidas se basa fundamentalmente en el manejo de la presión en la red, ya que se observaron presiones de hasta 98 mca.

Las altas presiones en el sistema de distribución, generan roturas en tuberías de algunas zonas del casco urbano, en donde la empresa Serviteatinos debe iniciar inmediatamente un proceso de reparación, que acarrea costos e interrupción del suministro del servicio.

5.6.5 TÓPAGA

En el sistema de acueducto del municipio de Tópaga, se presentan una serie de limitaciones, en cuanto a información técnica, como la inexistencia de información de los caudales suministrados a la red de distribución y en la inexistencia del proceso de facturación.

Entre otros aspectos que son desconocidos del sistema de acueducto y que generan un funcionamiento inadecuado, el desconocimiento de los volúmenes facturados, corresponde al principal obstáculo para determinar con exactitud el balance de aguas y, por tanto, el índice de agua no contabilizada.

Sin embargo, pese a las condiciones de funcionamiento encontradas en el escenario actual de operación, se estimó un índice de agua no contabilizada de 47 %.

El recurso hídrico, es suministrado en un completo descontrol, y, por tanto, se presentan actualmente fuertes críticas por parte de los usuarios, hacia la operación del sistema de acueducto, que no brinda la calidad adecuada a los usuarios del sistema.

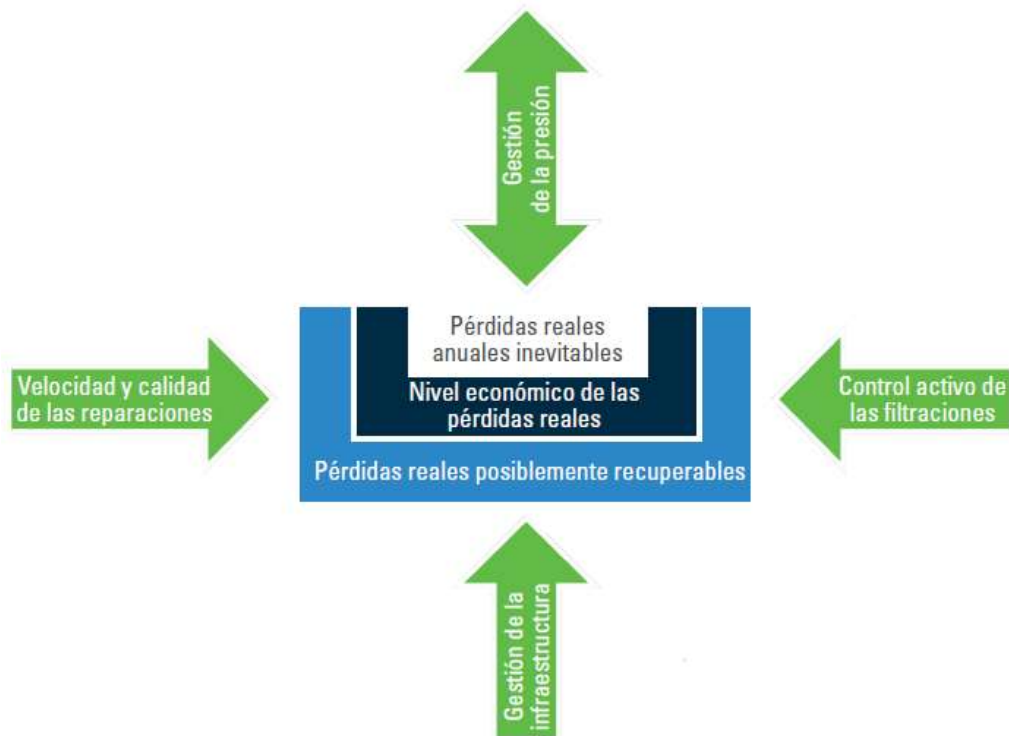
Por parte de la comunidad no existe, un interés por el buen manejo del recurso hídrico, ya que existen viviendas en donde el tanque de almacenamiento no posee válvula para el control del llenado del tanque y se generan reboses, afectando a otros usuarios.

5.6.6 ANÁLISIS DE LAS POSIBLES CAUSAS PRINCIPALES DEL IANC

El índice de agua no contabilizada, de un sistema de acueducto tiene inmersos diferentes y múltiples factores que inciden en el incremento o la disminución del mismo.

En cuanto al componente técnico de pérdidas de agua, “En el 2003 el IWA Water Loss Task Force (Grupo de trabajo en pérdidas de agua del IWA), definió los cuatro elementos principales para combatir las pérdidas reales de agua”²⁸

Figura 55. Componentes de las pérdidas reales de agua



Fuente: International Water Association (IWA)

Con base en los resultados establecidos del índice de agua no contabilizada de los sistemas de acueductos de los municipios analizados, en cuanto a los cuatro elementos definidos por el IWA, la gestión de la presión y la gestión de la infraestructura poseen una incidencia importante en las pérdidas de agua de los acueductos estudiados.

En el municipio de Zetaquirá, además de poseer deficiencia en la búsqueda y control de las filtraciones, gestión de la infraestructura y posiblemente velocidad y calidad de las reparaciones, la gestión de la presión toma posición como el elemento de mayor incidencia. Sin embargo, en Samacá, al haber eficacia en la gestión de la infraestructura, búsqueda y control de filtraciones y posiblemente calidad de las reparaciones, la gestión de la presión, se convierte en cierta forma en el único elemento deficiente, de acuerdo a las condiciones actuales de operación.

²⁸ Pilcher, R., Leak detection practices and techniques: a practical approach. 2003.

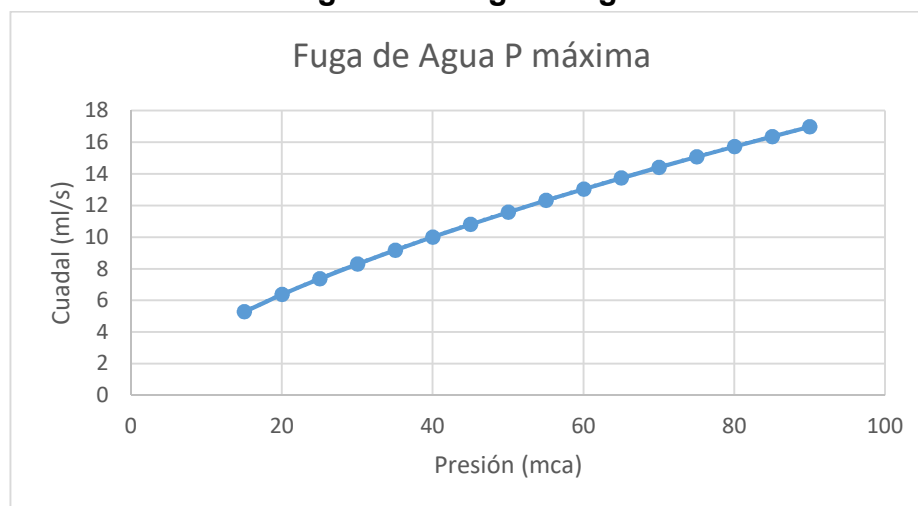
El escenario antes descrito, se puede analizar de acuerdo a varias investigaciones, que estudiaron el comportamiento de los caudales de fuga de acuerdo a las características de las roturas, fallas o fisuras de la tubería en función de la presión.

Mora, Caballero y Ortiz, (2013), analizan el caudal de fuga, presentado en tuberías bajo condiciones estáticas, en donde el consumo es mínimo, aumentando con una tendencia polinómica en función de tres escenarios de reducción de la presión.

A partir de los tres escenarios de presión, se obtiene una relación entre la presión media en la red y el caudal de fuga de la siguiente forma: ($Q=0,908 \times P^{0,651}$), Con ella se tiene caracterizado el nivel de fugas que se presenta en la red en función de la presión. De esta forma y mediante la validación numérica, se podrán determinar presiones con las que se obtengan mejores eficiencias físicas para diversos períodos de consumo a lo largo del día²⁹.

De acuerdo a la ecuación determinada en la investigación mencionada anteriormente, al representar las fugas de agua en la red de distribución de un municipio, con presiones actuales de operación, se logra percibir que en la medida que se disminuya un 50 % de la presión se logrará en similar proporción disminuir el caudal de fuga.

Figura 56. Fuga de agua



Fuente: El autor

Ahora bien, de acuerdo con Saldarriaga (2004), que establece, los parámetros y ecuaciones que expliquen el caudal de fuga en fallas longitudinales, presentado en tuberías de PVC con RDE 21, bajo condiciones dinámicas, y que aumenta con una

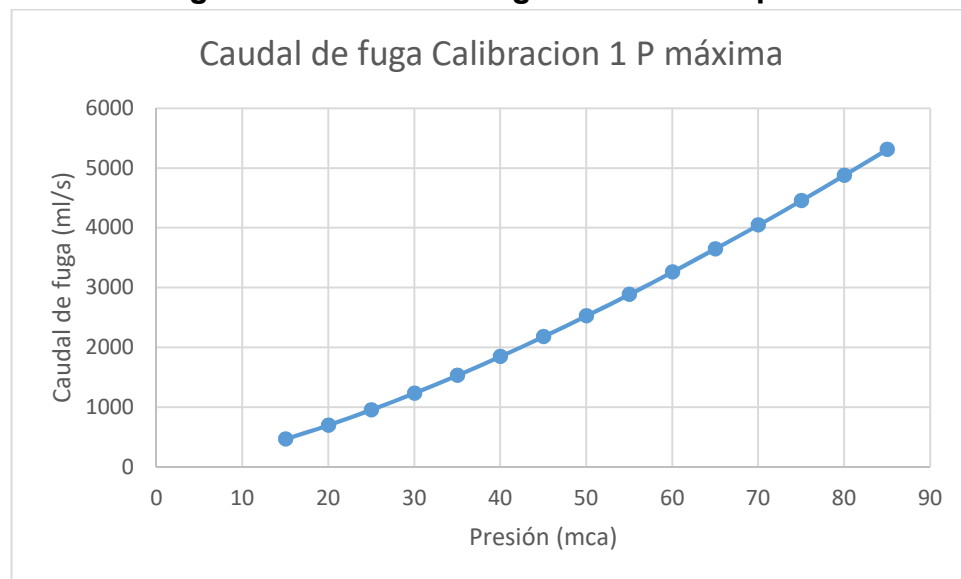
²⁹ Mora R, Jose; Caballero, Alberto y Ortiz, Josefina, Gestión de la presión para la mejora de la eficiencia física en una red experimental de distribución de agua, 2013.

tendencia polinómica en función de la presión, de acuerdo a una serie de características físicas como, el diámetro de la tubería y la longitud de la falla.

En esta calibración tipo 1 se determinaron los parámetros de fuga c y b de la ecuación ($Q=cxP^b$), mediante simulaciones de Monte-Carlo. Estos parámetros son el punto de partida para la determinación de dependencias con respecto a variables conocidas, como el diámetro de la tubería y una longitud característica de la falla evaluada.³⁰

Los resultados de la calibración tipo 1, mediante la ecuación determinada para una tubería de 3 pulgadas con una falla longitudinal de 60 mm correspondiente a ($Q=10,57xP^{1,40}$), de la investigación antes mencionada, permiten analizar el comportamiento de la fuga en función del aumento de la presión, para las condiciones generales encontradas en Zetaquirá y Samacá.

Figura 57. Caudal de fuga calibración tipo 1



Fuente: El autor

Los anteriores análisis permiten observar la influencia que tienen las presiones de servicio en la red de distribución, respecto a los resultados del índice de agua no contabilizada, de cada uno de los municipios, siendo fundamental como primera medida gestionar la presión con el fin de mantenerla en el rango establecido en la normatividad y así reducir los volúmenes de pérdida de agua.

³⁰ Saldarriaga, Juan. Ávila, Humberto, Calibración de parámetros de fuga en fallas longitudinales en tuberías de PVC. 2004.

La determinación del plano óptimo de presiones de una red de distribución, corresponde a uno de los elementos, mas importantes dentro del desarrollo de la gestión integral de redes, ya que a través de este optimiza el funcionamiento hidráulico del sistema³¹

Para todos los municipios, el común denominador, hace referencia uno de los elementos establecidos por el IWA, correspondiente a la inadecuada gestión de la infraestructura, ya que se encuentra una problemática en dos componentes fundamentales de la infraestructura como lo son válvulas de control de flujo y medidores de volumen de agua, por un lado, el deterioro y por el otro la inexistencia de esta infraestructura.

En cuanto al componente comercial, las pérdidas de agua se generan fundamentalmente por la existencia de usuarios fraudulentos, ya en el diagnóstico técnico se ha descrito como en varios municipios las empresas prestadoras del servicio, han logrado encontrar usuarios fraudulentos que generan conexiones evitando la medición del consumo y en otros casos parte del volumen consumido, no obstante, carecen de la tecnología, las herramientas o el apoyo necesario de empresas para enfrentar las pérdidas de agua desde el punto de vista comercial.

En la investigación se torna complejo la determinación de los volúmenes de pérdida de agua debidos a las conexiones fraudulentas, ya que en cierta forma la limitación de la información y la complejidad existente en recolectarla, obstaculiza la determinación de las dotaciones por cada usuario de la red y su posterior análisis, que permita establecer el volumen de agua que puede estar captando de manera fraudulenta.

En este punto el problema pasa del plano técnico a un plano social, en donde los usuarios del servicio de acueducto, encuentran múltiples razones, para no generar los pagos totales del servicio, ya sea por descontento con la calidad en la prestación del servicio, dificultad debido a los costos de acceder a un punto de agua potable o por cuestiones sociales, en donde la sociedad comúnmente pretende realizar acciones contrarias a las establecidas en la normatividad, se generan conexiones fraudulentas.

³¹ Saldarriaga Juan. Jurado Mauricio, Metodología para la definición de planos óptimos de presiones, 2008.

5.7 ANÁLISIS DEL IMPACTO FINANCIERO

Cada metro cubico de agua que produce una empresa de servicios públicos de los municipios analizados, así como cualquier otra empresa prestadora del servicio, tiene inmersos costos de producción de agua potable, asociados a la tasa por uso del agua, el mantenimiento de las diferentes estructuras, así como los insumos utilizados en la potabilización del agua producida en la planta de tratamiento.

Con base en escenario anterior, resulta imprescindible disminuir los costos asociados a la producción mencionados anteriormente, justamente mediante la disminución de los volúmenes de pérdida de agua en la red, bien sea por pérdidas técnicas, así como comerciales. Por tal razón los ahorros económicos y por tanto el impacto positivo en la empresa prestadora del servicio, se calculan con base en los volúmenes de agua ahorrados contrastados con las tarifas existentes que contemplan los diferentes costos de producción.

La empresa Servir-Soracá E.S.P del municipio de Soracá, mediante la reducción del índice de agua no contabilizada hasta el valor máximo admisible de 25 %, generará un ahorro de agua representados en un volumen de 454,65 m³/mensuales.

Figura 58. Impacto económico para el municipio de Soracá



Fuente: El autor

La Unidad de servicios públicos de Zetaquirá, mediante la reducción del índice de agua no contabilizada hasta el valor máximo admisible de 25 %, generará un ahorro de agua representados en un volumen de 9441 m³/mensuales.

Figura 59. Impacto económico para el municipio de Zetaquirá



Fuente: El autor

La Unidad Servimanantiales A.P.C del municipio de Cucaita, mediante la reducción del índice de agua no contabilizada hasta el valor máximo admisible de 25 %, generará un ahorro de agua representados en un volumen de 1281 m³/mensuales.

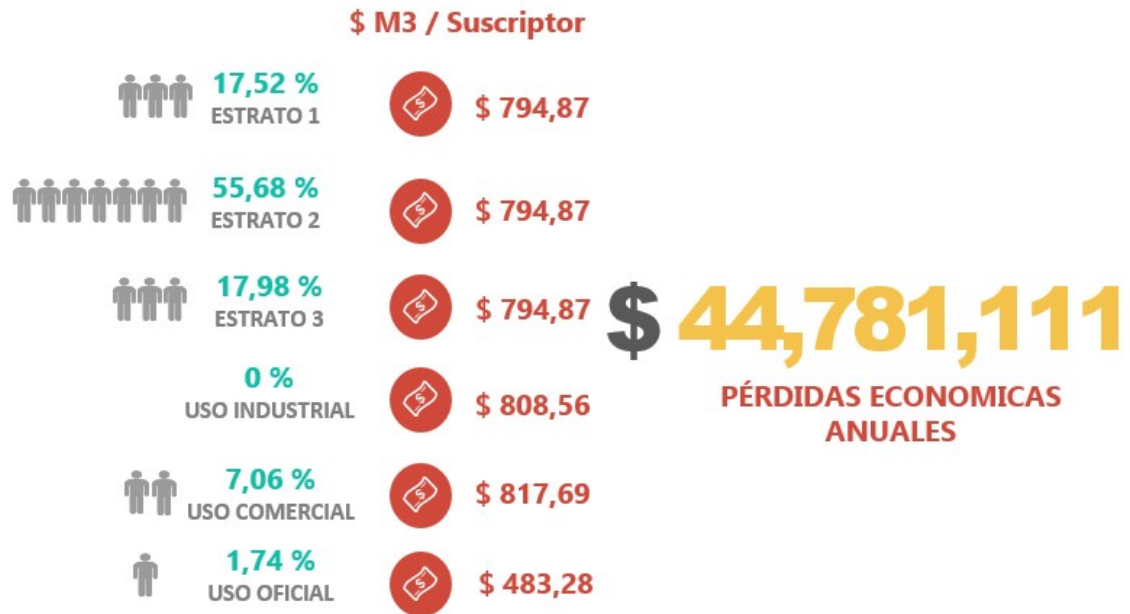
Figura 60. Impacto económico para el municipio de Cucaita



Fuente: El autor

La empresa Serviteatinos S.A E.S.P del municipio de Samacá, mediante la reducción del índice de agua no contabilizada hasta el valor máximo admisible de 25 %, generará un ahorro de agua representados en un volumen de 4717 m³/mensuales.

Figura 61. Impacto económico para el municipio de Samacá



Fuente: El autor

Adicionalmente al ahorro representado por la disminución de pérdidas en la red y por tanto sus costos asociados, cabe decir que se presenta un beneficio económico fundamental correspondiente, a los costos en los que incurriría la empresa prestadora del servicio, al momento de construir obras de infraestructura para realizar nuevas captaciones, debido a que el recurso resulte insuficiente por el aumento de los volúmenes de consumo al mantener los niveles de pérdida actuales.

6 CONCLUSIONES

Existen múltiples limitaciones en la recopilación de información técnica y empresarial, y en la mayoría de los casos, esta consiste en la inexistencia de la información o en su defecto información incompleta y que genera un porcentaje de incertidumbre. Un proceso básicamente fundamental en la determinación del índice de agua no contabilizada, corresponde justamente a la medición del agua, no obstante, en los municipios analizados, no se cuenta con la medición en todos los procesos.

En la mayoría de los casos se cuenta con un desconocimiento del caudal que es captado, presentándose un escenario en el que la empresa o unidad de servicios públicos de acueducto posee una deficiencia y por tanto una falta de voluntad por querer optimizar el recurso hídrico.

Las empresas prestadoras del servicio en los municipios analizados, han iniciado un proceso de transformación empresarial, cuatro municipios con un avance muy importante respecto al otro, específicamente los municipios de Soracá, Zetaquirá, Samacá, Cucaita cuentan con el proceso de micromedición que permite determinar con una mayor exactitud el volumen de pérdidas en la red, y adjunto a lo anterior llevan mediante sistemas, los procesos de facturación, sin embargo el municipio de Tópaga, al no contar con micromedición y por tanto no tener un proceso de facturación en función de los consumos de los usuarios, no ha iniciado la transformación empresarial.

En el balance de aguas, los volúmenes de pérdida de agua para los diferentes procesos del sistema, muestran un panorama en el que queda claro que los procesos con mayor pérdida de agua corresponden justamente al proceso de transporte y al proceso de distribución, encontrándose adicionalmente que son pérdidas representativas y similares en algunos casos.

La modelación hidráulica empleada, permite evaluar el comportamiento de la operación del sistema en función de las condiciones actuales, permitiendo encontrar el plano actual de presiones del sistema, que es diciente y acorde a las problemáticas asociadas a las pérdidas de agua en la red de distribución, y, por tanto, tener la posibilidad de crear escenarios y generar alternativas de optimización mediante la modelación hidráulica.

Para la simulación de la red de distribución, y, por tanto, la obtención del plano de presiones actual de operación, se tiene una gran incertidumbre, debido a la dificultad de generar una topología exacta de la red, así como la obtención de una curva o

patrón de consumo de cada municipio. La determinación de los patrones de consumo o variación del consumo logra tener gran relevancia al momento de minimizar la incertidumbre de los resultados. En este sentido la determinación de la variación del consumo realizado en los ensayos de pitometría cobra importancia al posicionarse como un antecedente para futuros proyectos.

La calibración de los modelos hidráulicos generados en la evaluación, como es el caso de Zetaquirá, Soracá y Samacá, generan un reto fundamental en búsqueda de validar los modelos o simulaciones, y de esta manera poder tomar decisiones y generar proyectos de reducción de pérdidas de manera precisa. Una segunda fase de este estudio se proyecta en la toma de información como caudales y presiones, para realizar la calibración y validación de los modelos hidráulicos de los municipios simulados.

El presente estudio concluye que los cinco municipios analizados, presentan un índice de agua no contabilizada superior al 25 % establecido en el reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, y que los volúmenes de pérdida en la red, corresponden a una problemática conformada por factores técnicos y comerciales, siendo necesario implementar en cada uno de ellos un programa de reducción de pérdidas.

De acuerdo al análisis de los componentes establecidos por el IWA, que tienen influencia en las pérdidas reales de la red de distribución, se encuentra prioritaria la gestión de la presión y por tanto la obtención de un plano óptimo de presiones, que permita la adecuada prestación del servicio.

Como propuesta fundamental de reducción de pérdidas, en el eje de la gestión de la presión, se recomienda realizar un proceso de sectorización en la red de distribución, que permita realizar el control de las presiones en el sector, así como la medición del caudal en cada sector hidráulico y determinar los volúmenes de pérdida de cada sector, con el fin de poder estimar exactamente el factor de investigación y así detectar zonas críticas de la red, en que se puedan encaminar procesos de renovación de redes.

El impacto financiero en las empresas de servicio público es evidente, ya que las pérdidas económicas en todos los casos son representativas, y, por tanto, son valores económicos que logran cubrir los costos de la gestión de la infraestructura, en el caso de reparación y mantenimiento de válvulas en la red de distribución, así como en proyectos enfocados al control activo de filtraciones, mediante la adquisición de equipos que permitan la localización de fugas en la red y así realizar su correspondiente reparación.

El fortalecimiento institucional es la clave en la mejora de un sistema de acueducto, ya que, al contar con una transformación empresarial, se tiene conciencia de los recursos hídricos y de la importancia de ahorrar tanto en insumos para el tratamiento de agua como en la operación del sistema y por tanto será imperativo la ejecución de proyectos encaminados a reducir pérdidas de agua.

La reducción de pérdidas de agua en la red de distribución, mediante la adecuada operación del sistema, permite obtener un escenario en donde se inicia a cumplir el objetivo 6 de la agenda 2030, el cual invita a garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

Finalmente, el estudio se posiciona como un antecedente importante para los municipios analizados, y que permite contribuir a establecer de manera más precisa los valores de pérdidas en los municipios del departamento de Boyacá, así como en las soluciones necesarias para disminuir los niveles de pérdidas y optimizar los sistemas de acueducto, resaltando la importancia fundamental de la implementación de un Programa De Uso Eficiente Y Ahorro Del Agua PUEAA.

7 RECOMENDACIONES

Es fundamental que las empresas de Servicios públicos inicien a ejecutar la medición y registro de los caudales en los diferentes procesos del sistema de acueducto.

Se recomienda realizar la instalación de estructuras y equipos de medición, que permitan llevar un registro de los caudales de operación en los diferentes procesos del sistema de acueducto y por tanto realizar un seguimiento a los caudales y los niveles de pérdida por componente.

Se recomienda adelantar el proyecto de sectorización, que permita generar un plano óptimo de presiones e iniciar a realizar un seguimiento de los volúmenes de pérdida por sector hidráulico, logrando establecer las zonas críticas, de manera que se genere una priorización de proyectos.

Se recomienda que después de ejecutar proyectos encaminados a la gestión de la presión se inicien proyectos enfocados a la gestión de la infraestructura y el control activo de las filtraciones de manera simultánea y en un periodo a largo plazo, ya que en el caso específico de Zetaquirá, se presenta un alto deterioro de la red.

Desde los aspectos técnicos en la construcción de los modelos hidráulicos, se recomienda realizar el proceso de calibración, mediante la toma de datos de caudal y presión en diferentes días del mes, de acuerdo a la resolución 0330 de 2017, con el fin de tomar decisiones y acciones.

Adicionalmente crece la importancia de generar concientización en la comunidad de la importancia de proteger los recursos naturales y por ende gestionar adecuadamente los mismos.

Se recomienda a las corporaciones autónomas regionales, buscar los mecanismos necesarios con el fin de aplicar y ejecutar los programas de uso eficiente y ahorro del agua, y que estos no se conviertan en las innumerables guías y programas que adornan los estantes en las empresas prestadoras del servicio público.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Irina Bokova, Mensaje con motivo del día mundial del agua, UNESCO, 2017.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), Informe de las naciones sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, 2016.

ONU, Cumbre de Johannesburgo, 2002.

GIWA (Global International Waters Assessment), The GIWA Final Report Challenges to international Waters, 2010.

BANCO MUNDIAL, Artículo América Latina, ¿Por qué las empresas de agua y saneamiento intentan ahorrar energía?, 2015.

TLA (Tribunal Latinoamericano del Agua), Situación Hídrica en América Latina, 2011.

SIWI, Making Water a Part of Economic Development, 2005.

MAVDT (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial), Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico, 2010.

SALINAS, Retos a futuro en el sector de acueducto y alcantarillado en Colombia, 2011.

EL TIEMPO, ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?, 2015.

SUPERSERVICIOS (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios), Estudio Sectorial de los Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado, 2016.

DNP, En la guajira se pierde el 82% del agua potable, 2015.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), Informe de las naciones sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, 2015.

GIZ (Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit), Guía para la reducción de pérdidas de agua, 2010.

EL TIEMPO, El 36% del agua que se consume no se factura, 2017.

MAVDT (Ministerio de Ambiente Vivienda Y Desarrollo territorial), Cartilla Agua no contabilizada municipios menores y zonas rurales, 2008.

MVCT (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio), Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS), 2017.

Chacón M, Lizcano y Lara, Consumo Básico de Agua en Colombia, 2011.

MVCT (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio), Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS), 2010.

PILCHER. R., Leak detection practices and techniques a practical approach, 2003.

Mora R, José Caballero, Alberto y Ortiz, Josefina, Gestión de la presión para la mejora de la eficiencia física en una red experimental de distribución de agua, 2013.

Saldarriaga, Juan. Ávila, Humberto, Calibración de parámetros de fuga en fallas longitudinales en tuberías de PVC, 2004.

Saldarriaga Juan. Jurado Mauricio, Metodología para la definición de planos óptimos de presiones, 2008.

CRA (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico), informe de gestión, 2017.